14 ELENCO DELLE TECNICHE

14.1 Interventi antierosivi

14.1.1 Semina a spaglio

Funzioni: copertura e completamento su versanti soggetti ad erosione e su sponde.

Descrizione: consiste nella semina manuale di un miscuglio di sementi di specie selezionate e, se necessario, di fertilizzanti. Spesso si usa a completamento di altri tipi di opere di stabilizzazione.

Descrizione da voce di capitolato: rivestimento di superfici di scarpata mediante spargimento manuale a spaglio di idonea miscela di sementi e di eventuali concimanti organici e/o inorganici in quantità e qualità opportunamente individuate.
La composizione della miscela e la quantità di sementi per metro quadro sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali della stazione (in genere valgono quantità da 30 a 60 g/m^2). La provenienza delle sementi e germinabilità dovranno essere certificate.

Effetto: l'inerbimento è veloce e permette di ottenere rapidamente la protezione delle superfici dal fenomeni di erosione superficiale.

Campi d'applicazione: aree sulle quali è necessaria una rapida protezione del terreno da fenomeni erosivi superficiali, o un'integrazione di precedenti operazioni di semina e versanti poco inclinati caratterizzati da fenomeni erosivi poco incisivi in ambiente con microclima fresco.
La presenza di una copertura erbacea continua sul versante in frana può contribuire a limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno dei corpi di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;
- la tecnica non è idonea su versanti o sponde con pendenze >20° o su terreni poveri di suolo e soggetti a dilavamento.

Materiali impiegati:
- sementi di specie autoctone. I miscugli di sementi saranno scelti in base alle caratteristiche stazionali della località dell'intervento, si utilizzeranno specie capaci di produrre velocemente il manto protettivo, alcune formando un reticolo superficiale di rizomi, altre spingendo le radici in profondità. La provenienza delle sementi e la percentuale di germinabilità devono essere certificate. Distribuzione delle sementi: 10 ÷ 100 g/m^2;
- concimi e fertilizzanti: si possono aggiungere, secondo i casi, torba, sabbia o ammendanti di vario tipo e, se necessario dopo la semina, fertilizzanti organici (30 ÷ l00 g/m^2).

Modalità di esecuzione: la prima fase consiste nella preparazione del terreno che deve essere ben drenato. È utile disporre di uno strato superficiale di terreno soffice e ricco di humus e perciò, quando è necessario, se ne migliorano le caratteristiche chimiche e fisiche con ammendanti e concimi.
Il terreno deve essere lavorato manualmente o meccanicamente; quindi si rastrella e si rimuovono sassi e radici. Si compatta poi il terreno con un rullo, scegliendo un momento in cui è asciutto.
A questo punto si procede alla semina a spaglio. Per evitare di seminare due volte la stessa superficie o di lasciare spazi non seminati, è opportuno delimitare strisce larghe 1 m circa con dei picchetti e procede re su queste con il lavoro. Infine si rastrella la superficie seminata e, se si ritiene opportuno, si distribuisce del fertilizzante organico.

Accorgimenti: con substrati argillosi o comunque poco permeabili è opportuno, nella fase di preparazione del terreno, realizzare fossi di scolo e drenaggi.

Vantaggi: l'esecuzione è semplice e conveniente anche per piccole superfici. Permette di ottenere rapidamente il rivestimento, contribuendo in modo efficace ad evitare l'erosione superficiale. Particolarmente indicata per interventi integrativi.

Svantaggi: la funzione di protezione del suolo esercitata dal manto erboso è superficiale. L'azione più profonda è esercitata da arbusti ed alberi.

Periodo di intervento: all'inizio del periodo vegetativo. Su molti interventi di ingegneria naturalistica la semina costituisce l'operazione finale.

Manutenzione: annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

Analisi prezzi: cfr. **tabella 14.1**.

Ambito di applicazione dei processi di semina per opere di consolidamento: i singoli processi di semina possono essere applicati solo in ambiti specifici, di ampiezza diversa, indicati nella **tabella 14.2**. La quantità di sementi, concimi, ammendanti, pacciamanti e collanti applicate per m² di superficie, devono essere comprese nei limiti indicati nella **tabella 14.3**.

14.1.2 Semina con fiorume

Funzioni: copertura e completamento su versanti soggetti ad erosione e su sponde.

Descrizione: consiste nel disporre sulla super-

Tab. 14.1 - *Semina a spaglio: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,02		
b) Noli:				
c) Materiali:				
Miscela per sementi 50 g/m²	Kg	0,05		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**0,41 ÷ 0,77**
			£/m²	**800 ÷ 1.500**

Tab. 14.2 - *Semina a spaglio: ambiti specifici*

	Processo	Stato del suolo vegetale					Clima					Pericolo di erosione e/o frane				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	U/sc															
2	U/sck															
3	U/sca															
4	U/scp															
5	U/scka															
6	U/scap															
7	U/sckp o S/sckp															
8	U/sckap o S/sckap															

Legenda:

U = processi a umido;
S = processi a secco;
s = semente;
c = concime;
k = collante;
a = ammendante;
p = pacciame.

Spesa minima
Spesa media
Spesa massima

I processi indicati sono ancora limitatamente validi

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

Tab. 14.3 - *Semina a spaglio: quantità di concimi, ammendanti pacciamanti e collanti per m² di semina*

N.	Sostanze	Quantità			Unità di misura
1	Sementi (essiccate ad aria):				
	a) più di 800 semi per g, come media della miscela;	10	15	20	g
	b) 100-800 semi per g;	15	20	30	g
	c) meno di 100 semi per g.	20	40	60	g
2	Concimi:				
	a) concimi minerali (secchi) (ad es. N.P.K.=12.12.17);	30	50	70	g
	b) concimi organici (da umidi a secchi) (ad es. N.P.K.=7.2.2).	50	100	150	g
3	Ammendanti:				
	a) argilla e limo (da umidi a secchi);	125	250	375	g
	b) lava spugnosa, pomice, silicati trattati ecc. (da umidi a secchi);	500	1.000	1.500	g
	c) sostanze organiche: torba, cellulosa;	20	40	8	l
	d) terricciato a terra (umidi);	100	150	200	g
	e) idrosilicati (secchi);	1.000	3.000	5.000	g
	f) materiali espansi sintetici (secchi).	80	150	200	g
		15	25	40	l
4	Pacciame (paglia, fieno ecc. - secchi):				
	a) con semina ad umido;	250	350	450	g
	b) con semina a secco.	300	450	600	g
5	Collanti:				
	a) bitumi per semine ad umido (25%-30% in peso di emulsioni in acqua);	150	250	300	g
	b) bitumi per semine a secco 25%-30% in peso di emulsioni in acqua);	250	500	750	g
	c) dispersioni di sostanze plastiche (liquide);	20	40	60	g
	d) emulsioni di sostanze plastiche (liquide);	10	30	50	g
	e) concentrati di sostanze plastiche (liquidi);	50	10	15	g
	f) colle organiche (secche);	100	150	250	g
	g) metilcellulosa(secca).	20	40	60	g

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

ficie da inerbire lo sfalciato, che porta il fiorume con i semi, prelevato da formazioni erbacee in zone con caratteristiche stazionali analoghe a quelle dell'area di intervento.

Descrizione da voce di capitolato: rivestimento di superfici di scarpata mediante lo spargimento manuale a spaglio di fiorume (ovvero miscuglio naturale di sementi derivato da fienagione su prati stabiliti naturali dell'area d'intervento) e di eventuali concimanti organici e/o inorganici in quantità e qualità oppor-

tunamente individuate. La quantità di fiorume per m² è stabilita in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento, delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazio-nali della stazione ed è in genere tra 30 e 60 g/m².

Effetto: protezione del suolo dall'erosione superficiale.

Campi di applicazione: dove sia necessaria l'utilizzazione di sementi non reperibili in commercio e si voglia intervenire con specie autoctone, per esempio in aree di pregio o soggette a tutela particolare quali parchi e aree protette. Gli interventi d'inerbimento forniscono una protezione del suolo nei confronti dell'erosione superficiale. Inoltre, sui versanti in frana possono contribuire a limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno dei corpo di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- *verifica idraulica* (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;
- la tecnica non è idonea su versanti o sponde con pendenze >20° o su terreni poveri di suolo e soggetti a dilavamento, in questi casi la semina con sfalciato richiede l'impiego di supporti antierosivi.

Materiali impiegati:
- sfalciato in quantità sufficiente a coprire completamente la superficie da inerbire;
- teloni per raccogliere il materiale prelevato;
- attrezzi per il taglio dell'erba;
- strutture idonee alla conservazione del materiale;
- supporto antierosivo di copertura, se necessario;
- fertilizzanti organici: 50 ÷ 100 g/m².

Modalità di esecuzione: per prelevare il materiale vegetale tramite sfalcio si individuano zone con caratteristiche stazionali paragonabili a quella su cui sarà eseguito l'intervento, quindi si verifica che non vi siano state effettuate semine negli ultimi 3 ÷ 4 anni prima di procedere al prelievi. Si esegue lo sfalcio a mano o con falciatrici meccaniche e si depone il materiale prelevato su teli, avendo cura di non disperdere i semi durante le operazioni di prelievo e di trasporto. All'inizio della stagione vegetativa si procede alla semina della superficie da inerbire con lo sfalciato fino a ricoprimento completo di essa e, se si ritiene necessario, si aggiungono fertilizzanti.

Accorgimenti: l'area da cui prelevare il materiale deve essere scelta accuratamente. Il materiale sfalciato deve essere conservato in ambiente asciutto con le dovute precauzioni, tenendo presente che può essere attaccato da animali granivori.

Vantaggi: questa tecnica rende possibile la ricostituzione di un manto erboso che tenda verso dinamiche paranaturali.

Svantaggi: la tecnica richiede molta mano d'opera ed una struttura idonea per la conservazione dello sfalciato dal momento della raccolta a quello della posa in opera.

Periodo di intervento: per assicurare le sementi sia delle fioriture primaverili sia di quelle più tarde si eseguono sfalci alla fine della primavera e alla fine dell'estate o anche più tardi se lo studio della vegetazione indica la presenza di specie che lo richiedono. Si procede alla semina all'inizio della stagione vegetativa.

Tab. 14.4 - *Semina con fiorume: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,05		
b) Noli:				
c) Materiali:				
(*)Miscela per sementi 50 g/m²	Kg	0,05		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**0,7 ÷ 1,39**
			£/m²	**1.350 ÷ 2.700(**)**

(*) Il fiorume viene appositamente raccolto *in situ* nel corso dell'anno da personale specializzato.
(**) Non comprensivo del materiale.

Manutenzione: annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.4**.

14.1.3 Semina a paglia e bitume (sistema Schiechteln®)

Descrizione sintetica: realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, su di un letto di paglia distribuita uniformemente ed espersione di un emulsione bituminosa instabile con funzione protettiva, mediante l'uso di pompe irroratrici a zaino, esclusa la preparazione del piano di semina.

Voce di capitolato: rivestimento di superfici povere di sostanza organica mediante:
- spargimento manuale di paglia a fibra lunga a formare uno strato continuo di 2÷4 cm di spessore;
- semina a spaglio con miscela di specie idonea alle condizioni locali;
- spargimento di concimanti organici ed inorganici;
- bitumatura a freddo mediante soluzione idrobituminosa spruzzata a pressione atta a formare una pellicola protettiva e di fissaggio della paglia e dei semi.

La composizione della miscela e la qualità di sementi per m² sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento (in genere si prevedono 30÷40 g/m²). La provenienza e germinabilità delle sementi dovranno essere certificate.

Modalità di esecuzione:
- preparazione del terreno con eventuale riporto di terreno vegetale (spessore di 3 ÷ 4 cm);
- eventuale messa a dimora di talee:
  - preparazione delle buche per mezzo di stanghe di ferro;
  - posa in opera delle talee (6 talee per metro quadro).

Nel caso si dovesse intervenire in periodi diversi da quello primaverile le talee portebbero essere sostituite da paletti di legno di qualsiasi specie o da picchetti di ferro.
- spargimento di uno strato continuo di paglia di segale o di altri cereali o di fieno (0.3 ÷ 1 kg/m²). Il materiale a culmo lungo è idoneo per una più rapida ed economica distribuzione e per una migliore e duratura protezione del terreno in quanto interviene una possibile asportazione a causa di eventi naturali;
- collegamenti delle talee con filo di ferro (∅ 6 mm) o con corda, fissato a picchetti e steso in diagonale dall'alto verso il basso;
- semina di un apposito miscuglio di sementi foraggere e di piante rustiche (10 ÷ 50 gr/m²) eseguita a spaglio sopra lo strato di paglia;
- distribuzione di concime organico (50 ÷ 150 gr/m²);
- aspersione di un'emulsione bituminosa stabile tramite motopompa (700 gr/m²) già diluita in acqua per stabilizzare fisicamente lo strato di paglia ed evitare erosioni da parte del vento o dell'acqua.

Note: la paglia viene trasportata sul posto in balle pressate e con paglia asciutta, onde evitare che, all'atto della semina il seme rimanga attaccato allo strato più superficiale del manto vegetale distribuito. La sfogliatura delle balle di paglia va eseguita a mano per evitare che si formino ammassi eterogenei. Al fine di favorire la degradazione della paglia si può arricchirla con enzimi.

Vantaggi: il metodo sopra descritto assolve a diverse funzioni:
- riduzione dell'effetto erosivo delle precipitazioni atmosferiche e del vento;
- riduzione delle perdite di seme per dilavamento acausa della predazione degli animali (uccelli, roditori, insetti);
- realizzazione di un particolare microclima in prossimità del terreno sia in relazione alla temperatura (minori sbalzi termici) che all'umidità (riduzione dell'evaporazione): "effetto serra".

Accorgimenti: sui terreni con pendenza elevata, il suolo potrà eventualmente essere consolidato mediante la posa di reti o griglie metalliche, sintetiche o in fibra naturale a maglia stretta fissate al suolo con graffe e successivamente inerbito. È un metodo idoneo anche per inerbire superfici caratterizzate da suoli poco profondi e aridi o situate a quote elevate (piste da sci).
Il miscuglio di sementi deve essere distribuito in maniera omogenea e, perciò, nel caso in cui le sementi siano di dimensioni e pesi diversi è consiglito effettuare la semina in più fasi. L'apetto economico è legato all'eventuale messa dimora delle talee e alla posa di reti o di griglie.

Periodo di intervento: il periodo più adatto è quello primaverile.

Analisi prezzi: cfr. **tabella 14.5**.

14.1.4 Semina con matrice a fibre legate

Descrizione sintetica: è un prodotto naturale, derivato dalla lavorazione del legno, che viene spruzzato assieme ad altri prootti nella idroseminatrice e sostituisce le tradizionali georeti (juta, cocco, paglia).

Voce di capitolato: rivestimento di superficie con una matrice antierosiva mediante spargimento meccanico in un unico passaggio a mezzo di idroseminatrice a pressione con ugelli spe-

Tab. 14.5 - *Semina a paglia e bitume: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,02		
Operaio comune	Ora	0,04		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
Pompa irroratrice	Ora	0,02		
c) Materiali:				
Paglia	Kg	1		
Bitume	Kg	0,7		
Ammendanti	Kg	0.1		
Miscela per sementi 50 g/m^2	Kg	0,05		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**1,81 ÷ 2,69**
			£/m^2	**3.500 ÷ 5.200**

ciali per garantire l'applicazione a distanza e lo spargimento omogeneo del prodotto.

Materiali impiegati: l'idrosemina sarà composta da matrice fibre legate ovvero:
- 88% fibre vergini di ontano prodotte termomeccanicamente e per questo esenti datannino con lunghezza di 10 mm per oltre 50%;
- 10 %di collante premiscelato polisaccaride estratto dal egume di Guar con capacità di creare legami stabili tra le fibre ed il terreno. Le caratteristiche del collante Full Tack sono l'alta viscosità (oltre 14.000 cps) e di non dilavare se ribagnato; questo rende le fibre legate resistenti alla trazione;
- 2% di attivatori organici e minerali atti a stimolare la germinazione. Alla matrice di fibre legate si dovranno aggiungere le altre componenti (le quantità potranno variare in funzione del contestoambientale);
- miscela di sementi idonea alle condizioni locali in quantità minima di 35 gr/m^2;
- concime organico minerale bilanciato in quantità di circa 120 gr/m^2;
- acqua in quantità di circa 7 lt/m^2.

Ambiti di applicazione: la matrice a fibre legate è adatta per le applicazioni che richiedono un controllo temporaneo dell'erosione fino allo stabilirsi della vegetazione; in particolare per il controllo dell'erosione superficiale causata dal vento o dalle piogge su aree trattate. La matrice a fibre legate può essere applicata anche su scarpate non regolarizzate.

Vantaggi:
- aderenza perfetta alla superficie del terreno, che consente di evitare rigonfiamenti e ruscellamenti sottarrenei;
- l'applicazione in un solo passaggio non necessita della stesura della rete e del fissaggio dei chiodi riducendo notevolmente i tempi e i costi di manodopera;
- la matrice a fibre legate lega il seme e il fertilizzante al suolo, ma permette all'umidà, alla luce del sole e alle piante di penetrarla. Crea perciò un microclima per la germinazione e la crescita della vegetazione. Inoltre non sottrae al suolo azoto e non impedisce alla vegetazione già esistente di crescere;
- una volta asciutta, la matrice a fibre legate diventa un tappeto flessibile che minimizza anche l'impatto della pioggia pesante ed agendo da idroretentore, rilascia poi lentamente l'umidità al terreno. Anche quando è completamente satura, la matrice resta aderente al terreno. Il risultato è una notevole riduzione della perdita d'acqua e di terreno uguale o adirittura superiore delle tradizionali coperture di stuoie;
- poichè la matrice a fibre legate richiede meno manodopera e molto meno tempo per l'applicazione, il costo totale di un'applicazione è significativamente minore dei tradizionali sistemi di controllo per l'erosione;
- il prodotto è atossico e completamente biodegradabile ed è formato da una miscela di fibre di legno, un agente collante naturale e una miscela di attivatori organici e minerali;
- la matrice a fibre legate viene legata naturalmente, non con reti plastiche, per cui non è dannosa all'ambiente e non lascia residui inquinanti;
- è un sistema facile da applicare e non richiede manutenzione, è facile da trasportare e da immagazzinare.

Svantaggi:
- non è adatta per la prevenzione di fenomeni franosi, su terreni che manifestano profonde instabilità o sono soggetti a distacchi della superficie;

- non adatta a controllare l'erosione dove non è prevista la rivegetazione;
- non è adatta al rinverdimento di alvei fluviali o in aree soggette a frequenti innondanzioni.

Note: la quantità di "matrice a fibre legate" applicata non dovrà mai essere inferiore a 370 gr/m² per ottenere una copertura perfetta del suolo e svolgere la funzione di idroretenzione (oltre 900 volte il proprio peso), creando un microclima ideale alla germinazione.
La copertura non dovrà presentare interstizi superiori a 1 mm. Tutte le componenti della matrice di fibre legate sono 100% naturali e contenute in un unica confezione da 23 kg adatta per la copertura di circa 60 m².
L'applicazione della miscela deve avvenire con idonea idroseminatrice che garantisca l'omogeneità del prodotto e con un tipo di pompa (volumetrica) che mantenga l'integrità della semente.

14.1.5 Idrosemina

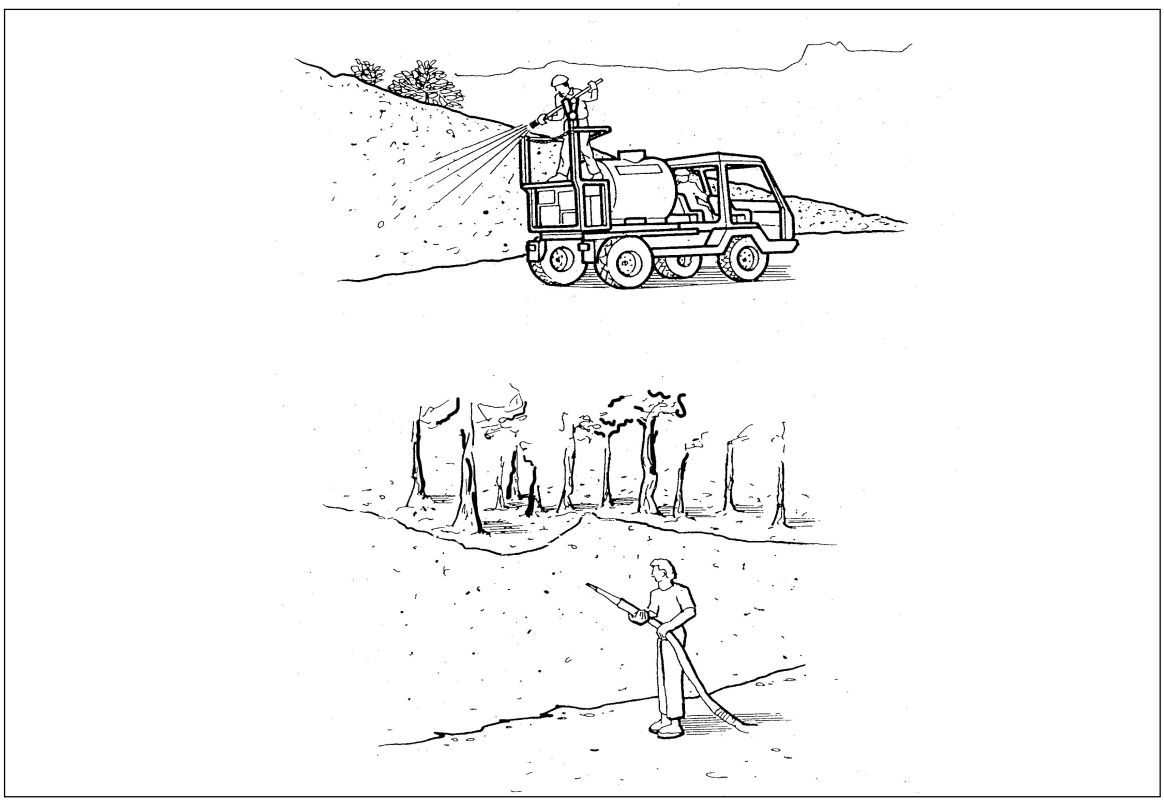
Funzioni: copertura e completamento su versante.

Descrizione: consiste nello spargimento meccanico di una miscela di sementi, fertilizzanti, ammendanti, leganti ed eventualmente fitoregolatori in acqua, effettuato con un dispositivo, idroseminatrice, costituito da una cisterna, una pompa e delle manichette.
I componenti della miscela creano un substrato ottimale per la germinazione dei semi e per le prime fasi di sviluppo delle plantule.
Il collante ha la funzione di legare assieme sementi, concimi ed ammendanti e di aderire bene al terreno, impedendo l'asportazione delle sementi nella fase germinativa, fino alla sua degradazione. L'acqua, oltre a veicolare la miscela, favorisce l'imbibizione delle sementi accelerandone la germinazione ed il primo stadio di sviluppo (**fig. 14.1**).

Descrizione da voce di capitolato: rivestimento di superfici mediante spargimento meccanico a mezzo di idroseminatrice a pressione atta a garantire l'irrorazione a distanza e con diametro degli ugelli e tipo di pompa tale da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.
L'idrosemina contiene:
- miscela di sementi idonea alle condizioni locali;
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nel terreno nelle fasi iniziali di sviluppo;
- concime organico e/o inorganico;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- altri ammendanti e inoculi.

La composizione della miscela e la quantità di sementi per m² sono stabilite in funzione del

Fig. 14.1 - *Idrosemina*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento, delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali (in genere si prevedono 30 ÷ 40 g/m²). La provenienza e germinabilità delle sementi dovranno essere certificate e la loro miscelazione con le altre componenti dell'idrosemina dovrà avvenire in loco, onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna.

Effetto: l'inerbimento è generalmente rapido e quindi si ottiene in maniera veloce la protezione del suolo dall'erosione superficiale operata dalle acqua di dilavamento e dal vento.

Campi di applicazione: pendii ripidi fino a 35° e fino a 40° nel caso di idrosemine potenziate (fino a 20° idrosemina semplice; fino a 35° idrosemina con *mulch*, cioè con materiali come fibra di paglia, sfarinato di torba, ecc. che migliorano la resistenza meccanica e la capacità di ritenzione idrica; fino a 50° ÷ 60° con *mulch* a fibre legate, scarpate, versanti rocciosi (particolarmente adatto per le piste da sci). Si tratta di un intervento ad alto gradimento e per questo viene utilizzato talvolta anche in superfici a ridotta inclinazione. Gli interventi di inerbimento, mediante l'impiego prevalente di specie erbacee, forniscono soprattutto una protezione del suolo nei confronti dell'erosione superficiale. Inoltre la presenza di una copertura erbacea continua su tutto il versante in frana può anche contribuire ad una limitazione dell'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno del corpo di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata.

Si utilizzano da 1 ÷ 30 l/m² di miscela in funzione dello spessore al suolo che si vuole ottenere. Tale spessore varia di solito tra 0,5 ÷ 2 cm ed è funzione delle caratteristiche stazionali (inclinazione, periodo arido, rischio erosione, ecc.). La tecnica non è idonea su pareti rocciose compatte (pendenza > 35°) o particolari formazioni geologiche che vanno lasciate alla rivegetazione spontanea.

Materiali impiegati: esistono diversi procedimenti per l'esecuzione di idrosemine, alcuni dei quali sono stati brevettati. Ognuno di essi prevede l'utilizzo di specifici materiali, in dosi precise. I materiali più comuni sono:
- acqua: 1 ÷ 30 l/m²;
- concimi minerali (semplici, complessi, a lenta cessione di azoto) od organici (miscele, prodotti vegetali, stallatico) o ancora organo-minerali: 50 ÷ 200 g/m²;
- ammendanti (torba, paglia, cellulosa): 60 ÷ 300 g/m²;
- collanti (colloidi organici, colloidi argillo-umici, polimeri di sintesi): 10 ÷ 100 g/m²;
- semi di specie erbacee e legnose: 20 ÷ 40 g/m²;
- fitoregolatori (ormoni vegetali).

Modalità di esecuzione: si miscelano i componenti fino a formare un liquido denso che viene spruzzato con idonee pompe su superfici da rinverdire.
La miscela viene spruzzata fino al raggiungimento dello spessore necessario in base al tipo di superficie; per zone a forte pendenza o con elementi litologici affioranti si possono raggiungere spessori di 2 ÷ 4 cm. in genere lo spessore si aggira nell'ordine di 0,5 cm.
Qualora l'area non sia raggiungibile da un'autopompa l'operazione può essere effettuata con l'elicottero.

Accorgimenti: su pendii assai ripidi può essere fissata una rete di juta sulla quale spruzzare successivamente la miscela.

Vantaggi: tecnica che permette un rinverdi-mento veloce della superficie interessata. Anche in situazioni moderatamente difficili dal punto di vista pedologico e climatico si riesce ad innescare il processo di ricostituzione della copertura vegetale. Tecnica che consente elevate produttività.

Svantaggi: è necessario che il cantiere sia accessibile ai mezzi meccanici (autobotte con pompa); è possibile utilizzare tubi flessibili fino a 150 ÷ 200 m per aumentare il raggio d'azione della pompa.
Se la superficie da rinverdire è sufficientemente grande si sfrutta al meglio la capacità dell'autobotte e si riducono i costi. I costi aumentano se l'operazione deve essere effettuata con l'elicottero.
Non sempre dà buoni risultati in stazioni aride o con elevato rischio di dilavamento superficiale.

Periodo di intervento: il periodo di semina deve essere scelto nell'arco dell'anno in base alle caratteristiche della stazione, al grado di ombreggiamento ed al grado di umidità. Sono da evitare i periodi asciutti, in particolare tutto il periodo estivo per le zone costiere e le aree più siccitose. In generale si effettua la semina nel periodo vegetativo.

Manutenzione: annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.6**.

Tab. 14.6 - *Idrosemina: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,02		
Operaio comune	Ora	0,02		
b) Noli:				
Idroseminatrice	Ora	0,020		
c) Materiali:				
Miscela per sementi	Kg	0,04		
Fertilizzanti organici	Kg	0,06		
Collante organico	Kg	0.07		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**1,11 ÷ 1,65**
			£/m²	**2.150 ÷ 3.200**

14.1.6 Idrosemina a spessore

Descrizione sintetica: realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito e distribuzione di una miscela composta di fieno o paglia e concime, mediante l'uso di irroratrici, esclusa la preparazione del piano di semina.

Voce di capitolato (da Ministero Ambiente, *Linee guida per i capitolati speciali per interventi di Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde*, 1997): rivestimento di superfici mediante spargimento meccanico di uno o due strati di idrosemina a spessore (*mulch*) da eseguire a mezzo di idroseminatrice a pressione atta a garantire l'irrorazione a distanza e con diametro degli ugelli tali e tipo di pompa da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.
L'idrosemina a spessore contiene:
- miscela di sementi idonea alle condizioni locali in quantità minima di 30 g/m²;
- *mulch*, ovvero fibra organica (paglia, torba bionda, torba scura, cellulosa, sfarinati, ecc.) in quantità opportune (in genere 200 ÷ 500 g/m²) da suddividersi in due o più passate;
- collante in qualità e quantità idonea al fissaggio dei semi e del *mulch*, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nelle fasi iniziali di sviluppo;
- concime organico e/o inorganico;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- altri ammendanti ed inoculi.

La composizione del *mulch* come quella della miscela e la quantità per m² sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento (in genere si prevedono 30 ÷ 40 g/m²), delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali. La provenienza e germinabilità delle sementi e la loro miscelazione con le altre componenti dovranno essere certificate; la miscelazione dovrà avvenire in loco onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna.

Campi di applicazione: adatta per quasi tutte le situazioni. Potendo variare a piacere i componenti della miscela, questa tecnica è idonea a coprire grandi e medie superfici, anche a forte pendenza, terreni grezzi e scarpate con limitata copertura sciolta.
Le ripetute irrorazioni di miscela al fine di formare strati sovrapposti, permette di garantire un'omogenea copertura dell'area da rinverdire, in condizioni di forte pendenza (50° ÷ 60°).

Modalità di esecuzione:
- preparazione del letto di semina con eventuale eliminazione dei ciottoli presenti tramite rastrellatura;
- distribuzione del miscuglio di sementi (con idrosemina) di 10 ÷ 50 g/m²;
- distribuzione, mediante l'impiego di motopompe montate su di un mezzo mobile, di una miscela composta da più elementi (si veda la voce successiva), effettuata in due o più passate fino a realizzare un rivestimento a spessore pari a 3 ÷ 4 cm; prima di passare alle successive irrorazioni, sarà opportuno aspettare che lo strato sottostante sia asciutto;
- nella seconda passata si spruzzerà solo mulch e collante.

Materiali impiegati: la miscela è costituita dai seguenti elementi:
- elemento di base costituito da sostanze organiche naturali (torba bionda e torba scura), con aggiunta di *mulch* in fibre di legno in ragione di almeno 250 g/m². Almeno il 20% delle fibre avrà lunghezza di 10 mm;

- stabilizzante per legare le sostanze di base al terreno stesso;
- fertilizzante organico biologico ed ecologico a lenta cessione (150 g/m²);
- concime minerale naturale a veloce e lenta cessione;
- fibra biologica a base di pasta di cellulosa neutra atta a formare uno strato fibroso che trattiene il seme ed in grado di aumentare la capacità di assorbimento dell'acqua regolandone la termoevaporazione;
- collante composto da colloidi argillosi di montmorillonite e poliuronidi derivanti da alghe marine in grado di sciogliersi in acqua e diventare, a contatto con il suolo, gel fisso e quindi resistente all'erosione superficiale; inoltre, aumenta l'attività biologica favorendo l'attecchimento delle piantine con anticipo formando un apparato radicale sano e robusto;
- composto di fibre naturali di piantine frantumate con l'aggiunta di cascami di cotone finemente macinati formante una coltre organica protettiva.
  Questa funge da ammortizzatore termico in caso di forti escursioni di temperatura e crea un microclima particolarmente favorevole alla germinazione precoce delle piantine; favorisce inoltre lo sviluppo in terreni sterili in microorganismi e quindi la formazione di *humus*;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- altri ammendanti ed inoculi atti a stimolare la radicazione delle sementi e lo sviluppo della microflora del suolo.

Fattibilità: è un'idrosemina ricca di materiale organico e *mulch* di fibra di legno, per cui risulta adatta alle situazioni in cui il substrato è particolarmente povero di materiale organico, sassoso, roccioso o costituito da rocce tenere alterate.
In condizione di forte pendenza o sulle terre rinforzate, si miscela della paglia triturata da aggiungere all'ultimo passaggio per la formazione di una copertura che dovrà avere uno spessore variabile da 2 a 4 cm a seconda della quantità di materiale organico.

Vantaggi: questo sistema ha il vantaggio che può essere applicato durante l'intero periodo vegetativo, benché i migliori risultati si ottengano nelle stagioni umide. Inoltre, offre il vantaggio di poter distribuire contemporaneamente sul terreno numerose sostanze essenziali per il successo dell'intervento.

Interventi collegati: tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica, sia per il consolidamento dei versanti, che per le difese spondali, recupero di aree degradate e manufatti per infrastrutture, in particolare:
- protezione dall'erosione di sponda;
- protezioni di superfici soggette a movimenti di terra a causa di lavori per la costruzione di opere, di sistemazioni superficiali e riprofilature di scarpate in scavo e in rilevato;
- sistemazione di scarpate e di conoidi;
- recupero ambientale e ripristino naturale di cave e discariche;
- inerbimenti di piste da sci.

Periodo di intervento: si opera nel periodo vegetativo che varia in funzione delle caratteristiche climatiche locali.

Manutenzione e durata dell'opera: irrigazione, concimazione e sfalcio, se ritenuti essenziali.

Note: in terreni molto argillosi si potranno aggiungere 100 g/m² di compost.
In terreni molto sassosi si potrà arrivare a quantità di *mulch* di torba pari a 350 g/m², rispettivamente. Nelle terre rinforzate o in condizioni particolarmente difficili a cause di pendenze elevate si aggiungerà un'ulteriore passata con 100 g/m² di mulch di fibra di legno e 100 g/m² di paglia tritata.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.7**.

Tab. 14.7 - *Idrosemina a spessore: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,015		
Operaio comune	Ora	0,015		
b) Noli:				
Idroseminatrice	Ora	0,01		
c) Materiali:				
Miscela per sementi	Kg	0,04		
Fibra vegetale (paglia, cellulosa)	Kg	0,5		
Fertilizzanti organici	Kg	0,06		
Collante organico	Kg	0.07		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**5,16 ÷ 6,2**
			£/m²	**10.000 ÷ 12.000**

14.1.7 Supporti antierosivi di fibre naturali e sintetiche nelle semine

Funzioni: copertura e completamento su versante.

Descrizione: consiste nel rivestimento di versanti mediante reti, feltri, stuoie, griglie, tessuti, ecc. che possono essere di materiale naturale, sintetico e misto.

Descrizione da voce di capitolato: rivestimento di scarpate mediante stesura di un biofeltro biodegradabile in fibre miste di paglia, cocco e juta, sisal, cotone, ecc. in percentuali variabili a seconda del prodotto e di grammatura minima di 300 g/m^2, eventualmente preseminate con minimo 40 g/m^2 di miscela di sementi e/o preconcimato con ammendanti migliorativi delle caratteristiche fisico-idrologiche ed organiche; fissaggio dello stesso mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza del biofeltro sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso.
La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici.
Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm.
Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.
Nel caso di biofeltro preseminato dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi.

Effetto: rendono possibile e velocizzano l'inerbimento anche di superfici "difficili".

Campi d'applicazione: la semina con supporti antierosivi è consigliabile ai fini del rivestimento vegetale (soprattutto per il ripristino della vegetazione erbacea) in caso di pericolo di erosione diffusa, dovuto a condizioni stazionali estreme, per esempio scarpate molto acclivi esposte al vento o povere di suolo. Nel consolidamento di fenomeni franosi queste opere di protezione superficiale contribuiscono alla riduzione, se pur indiretta, delle pressioni neutre all'interno del corpo di frana non solo contenendo l'azione erosiva superficiale esercitata dalle acque meteoriche ma, soprattutto, limitando l'infiltrazione delle stesse all'interno del corpo di frana.
Per quello che riguarda gli interventi di regimazione fluviale se ne prevede l'applicazione su sponde di corsi d'acqua con velocità della corrente non eccessiva e trasporto solido non grossolano.
Pertanto, a meno di non dover contrastare esclusivamente fenomeni erosivi superficiali, sia in interventi su versante che su sponda fluviale, le opere di rivestimento vegetale con l'impiego dei supporti antierosivi devono essere sempre abbinate ad altre tipologie di opera.
Gli interventi di protezione superficiale possono ottenersi per mezzo dell'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica utilizzando materiali naturali ovvero abbinando materiali naturali con materiali artificiali quali i geosintetici.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio).
- protezione dall'erosione diffusa e/o incanalata.

Su pendii con materiale grossolano incoerente e roccia affiorante è necessario effettuare il disgaggio del materiale lapideo instabile e, talvolta, ricorrere al l'accoppiamento con reti paramassi. Le resistenze a trazione dei supporti antierosivi variano in funzione del tipo utilizzato (vedere la voce "Materiali impiegati").

Materiali impiegati: a proposito dei supporti antierosivi occorre fare alcune precisazioni. In commercio ne esistono di vari tipi, distinguibili sulla base del materiale impiegato per la loro realizzazione, naturale o sintetico, e delle modalità costruttive. Le ditte produttrici ne immettono sul mercato ogni anno nuove varianti; perciò, essendo impossibile in questa sede elencarle tutte, ci limiteremo a menzionare quelle più diffuse.
I supporti a base naturale sono biodegradabili e la loro durata è conseguente alla natura del materiale che li costituisce, maggiore nel caso del legno o del cocco, minore nel caso della paglia. Quelli sintetici sono chiaramente più duraturi, ma non biodegradabili. Le caratteristiche fisiche e meccaniche di ciascun prodotto vengono fornite dalla ditta costruttrice.
In sintesi, si possono distinguere, tra i supporti a base naturale:
- *biostuoie*: materassini costituiti da paglia, cocco o trucioli di legno, contenuti in retine di plastica fotodegradabile oppure di juta; hanno in genere una buona capacità di assorbimento dell'acqua (più bassa per il cocco) e resistenze a trazione generalmente non superiori a 3 ÷ 4 kN/m;
- *biotessili tessuti*: veri e propri tessuti, con trama ed ordito, di fibre naturali come juta, cocco ed agave, le resistenze a trazione sono molto elevate (fino a 40 kN/m), secondo la fibra impiegata e la larghezza delle maglie; la capacità di assorbimento dell'acqua è discreta;

- *biofeltri*: biotessili non tessuti costituiti da fibre naturali anche di diversa natura, tenute insieme tramite agugliatura; assorbimento dell'acqua da medio ad alto, resistenza alla trazione di 3 ÷ 4 kN/m o maggiore qualora rinforzati da biotessili tessuti;
- *bioreti*: simili a tessuti a maglia larga, ma le corde vengono intrecciate ed annodate e quindi non si possono allargare; biodegradabili in tempi lunghi.

Tra i supporti antierosivi sintetici i più ricorrenti sul mercato sono:

- *geostuoie tridimensionali*: costituite da vari tipi di polimeri in filamenti aggrovigliati e termosaldati, che vanno poi saturati di terreno vegetale; non assorbono acqua, se non abbinate a geotessili a base naturale; le resistenze a trazione sono intorno a 5 kN/m;
- *rivestimenti vegetativi*: reti metalliche a doppia torsione o costituite da polimeri, abbinate con biostuoie o costituite tridimensionali; le reti assicurano resistenze alla trazione molto alte, anche superiori a 100 kN/m;
- *geocelle*: strutture alveolari realizzate con strisce di polietilene o geotessile non tessuto. Se costituite da materiale naturale (cocco in genere) prendono il nome di biocelle; la posa sul terreno è lievemente diversa da quella degli altri supporti, poiché vanno ancorate mediante chiodatura dei punti di giunzione dei vari alveoli e conseguentemente saturate di terreno naturale; la resistenza meccanica a trazione delle giunzioni varia da 0,35 ad 1 kN/m.

Altri materiali necessari:

- picchetti in legname (può essere utilizzato anche materiale vivo) da utilizzarsi soprattutto come rinforzi all'ancoraggio di monte e di valle; la loro lunghezza deve essere di almeno 30 ÷ 40 cm e ∅ >3 cm oppure chiodi in ferro di lunghezza 30 ÷ 40 cm e ∅ 12 ÷ 16 mm;
- graffe in ferro acciaioso con forma ad "U" per il fissaggio delle giunzioni e dei bordi;
- terreno vegetale nel caso di geocelle e geostuoie tridimensionali;
- eventualmente piante.

Modalità di esecuzione: modellamento e preparazione della scarpata per la regolarizzazione delle asperità naturali del terreno ed eventuale eliminazione di pietre e ramaglia.
Scavo di un solco di 20 ÷ 30 cm di profondità in sommità ed al piede della scarpata da proteggere.
Semina delle specie scelte (è preferibile, per le reti, seminare dopo la posa, oppure sia prima che dopo).
Posa in opera del supporto antierosivo (fornito dalle ditte in rotoli di lunghezza ed altezza variabile) che deve essere inserito nel solco di monte ripiegandolo in doppio strato per almeno 20 cm, e ricoperto con il terreno proveniente dallo scavo. In alcuni casi potranno essere utilizzati dei picchetti in ferro oppure in legno per rinforzare l'ancoraggio.
Il supporto viene poi steso sul pendio lungo la massima pendenza, in maniera da aderire al suolo quanto più possibile, facendo attenzione a non tenderlo troppo ed a garantire una sovrapposizione tra i vari teli contigui minimo di 10 ÷ 15 cm.
Nel caso di protezione spondale le stuoie vanno sovrapposte procedendo controcorrente per evitare che l'acqua s'infiltri fra una stuoia e l'altra. Fissaggio del supporto con picchetti di legno in caso di substrato sciolto oppure ad "U" in ferro acciaioso nel caso di strato roccioso affiorante. I picchetti dovranno essere disposti ad una distanza di circa 1 m l'uno dall'altro, lungo le sovrapposizioni laterali dei teli, sui bordi esterni e nei punti dove cambia la pendenza della scarpata per mantenere l'aderenza del supporto al terreno. In caso di pendenze elevate, oppure di superfici con asperità, la densità dei picchetti viene aumentata ed estesa anche all'interno del singolo telo (pendenza "p" della scarpata $p < 20 \div 30°$ un picchetto per m^2, $p \geq 20 \div 30°$ da 2 ÷ 3 picchetti per m^2 anche in funzione della consistenza del substrato).
Ancoraggio alla base del supporto mediante inserimento dello stesso nel solco precedentemente scavato a valle, con le stesse modalità dell'ancoraggio di monte. Eventuale semina sopra il supporto antierosivo. È anche possibile la messa a dimora di piantine su di un versante rivestito, dopo aver fatto dei tagli a croce nel telo ed avendo cura di fissare nuovamente i lembi residui.

Accorgimenti: particolare attenzione deve essere posta nelle seguenti operazioni: preparare la superficie, picchettare il supporto a monte ed a valle con formazione delle risvolte, sovrapporre lateralmente i teli, picchettandoli, e mantenere l'aderenza del supporto antierosivo al suolo. In commercio esistono anche vari supporti antierosivi preseminati. Il loro impiego non garantisce comunque sempre gli stessi risultati che si avrebbero con una semina "mirata" alle caratteristiche stazionali. In questi casi dovranno inoltre essere certificate le miscele utilizzate e la loro provenienza e germinabilità delle sementi, nonché la grammatura (rapporto peso/superficie) del supporto. Se la semina viene eseguita successivamente alla posa dei supporto antierosivo, è necessario ricordarsi d'intervenire con supporto asciutto, affinché il seme possa penetrare sotto al supporto stesso.

Vantaggi:

- per *tutte le tipologie di supporto*: immediatamente dopo la posa in opera i supporti esercitano un'azione protettiva nel confronti della perdita di suolo e di semi dovuta all'azione della pioggia e del vento;
- nel caso di *supporti a base naturale*: sono biodegradabili (non inquinanti) e decomponendosi incrementano la fertilità del terreno; nel caso di scarpate assai soleggiate, dove possono essere raggiunte temperature molto ele-

vate, sono utili inoltre per l'azione ombreggiante e di ritenzione idrica;
- nel caso di supporti a base sintetica: hanno una durata molto elevata nel tempo, le reti metalliche a doppia torsione, in particolare, esercitano anche una certa funzione strutturale di contenimento, per esempio quando si deve riportare uno spessore di terreno sciolto su una superficie rocciosa.

Svantaggi:
- per *tutte le tipologie di supporto*: le variabili da considerare nella scelta di un supporto antierosivo sono molte e di diversa natura (climatica, pedologica, morfologica, economica), nonché legate alle sollecitazioni meccaniche delle forze esterne. Non esistono ancora studi approfonditi che possano fornire regole per la scelta da adottare e bisogna basarsi molto sull'esperienza. In tutti i casi gli interventi preparatori alla messa in opera del supporto sono piuttosto lunghi, e specialmente nel caso di opere di difesa spondale, i supporti devono essere fissati a regola d'arte, in modo da non essere asportati dalla piena insieme alla sistemazione viva;
- nel caso di *supporti a base naturale*: sono poco duraturi e le resistenze a trazione sono in genere molto basse, quindi sono anche più delicati nelle fasi di posa in opera;
- nel caso di *supporti a base sintetica*: non si decompongono e quindi costituiscono un elemento estraneo a rivestimento vegetale avvenuto. Alcuni tipi, in particolari situazioni, per il troppo ombreggiamento o, viceversa, per il troppo assorbimento della radiazione solare, possono "soffocare" la nascita delle piante.

Periodo di intervento: preferibilmente durante il periodo di ripresa della vegetazione (periodo idoneo per le semine). Per l'eventuale posa di piante è consigliabile operare durante il riposo vegetativo.

Manutenzione: concimazione e irrigazione soprattutto durante la prima estate dopo la semina.

Analisi prezzi: vediamo qualche esempio di analisi prezzi per alcune biostuoie in fibra vegetale, con voci di capitolato relative.

1) *Biostuoia in paglia*: rivestimento di scarpate mediante stesura di una biostuoia in paglia di grammatura minima 300 g/m², montato su supporto in rete fotossidabile e biodegradabile di maglia minima 1x1 cm o su carta cucita con filo sintetico biodegradabile o in fibra vegetale, eventualmente preseminata con minimo 40 g/m² di miscela di sementi, e fissaggio dello stesso mediante interro in testa ed al piede e picchettatura con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui agli articoli precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (**tab. 14.8**).
2) *Biostuoia in cocco*: rivestimento di scarpate mediante stesura di una biostuoia biodegradabile in fibra di cocco, di grammatura minima 300 g/m², montata su un supporto in rete sintetica fotossidabile e biodegradabile di maglia minima 1x1 cm o su carta cucita con filo sintetico biodegradabile o in fibra vegetale, eventualmente preseminato con mini-

Tab. 14.8 - *Biostuoia in paglia: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,1		
Operaio comune	Ora	0,1		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Biostuoia in cocco	m²	1		
Picchetti o staffe acciaio a.m. D14 mm, L 1,2m	Kg	1,4		
Semina	m²	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**5,16 ÷ 6,2**
			£/m²	**10.000 ÷ 12.000**

mo 40 g/m² di miscela di sementi, e fissaggio dello stesso mediante interro in testa ed al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui agli articoli precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (**tab. 14.9**).

3) *Biostuoia in cocco e paglia*: rivestimento di scarpate mediante la stesura di una biostuoia biodegradabile in fibre miste di paglia e cocco, in percentuali variabili a seconda del prodotto con quantitativo in paglia non inferiore al 40% e di grammatura complessiva non inferiore a 300 g/m², eventualmente preseminata con minimo 40 g/m² di miscela di sementi e/o preconcimata con ammendanti migliorativi delle caratteristiche fisico-idrologiche ed organiche; fissaggio della stessa mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento del cotico erboso **(figg. 14.2-14.3)**. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm.
Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (**tab. 14.10**).

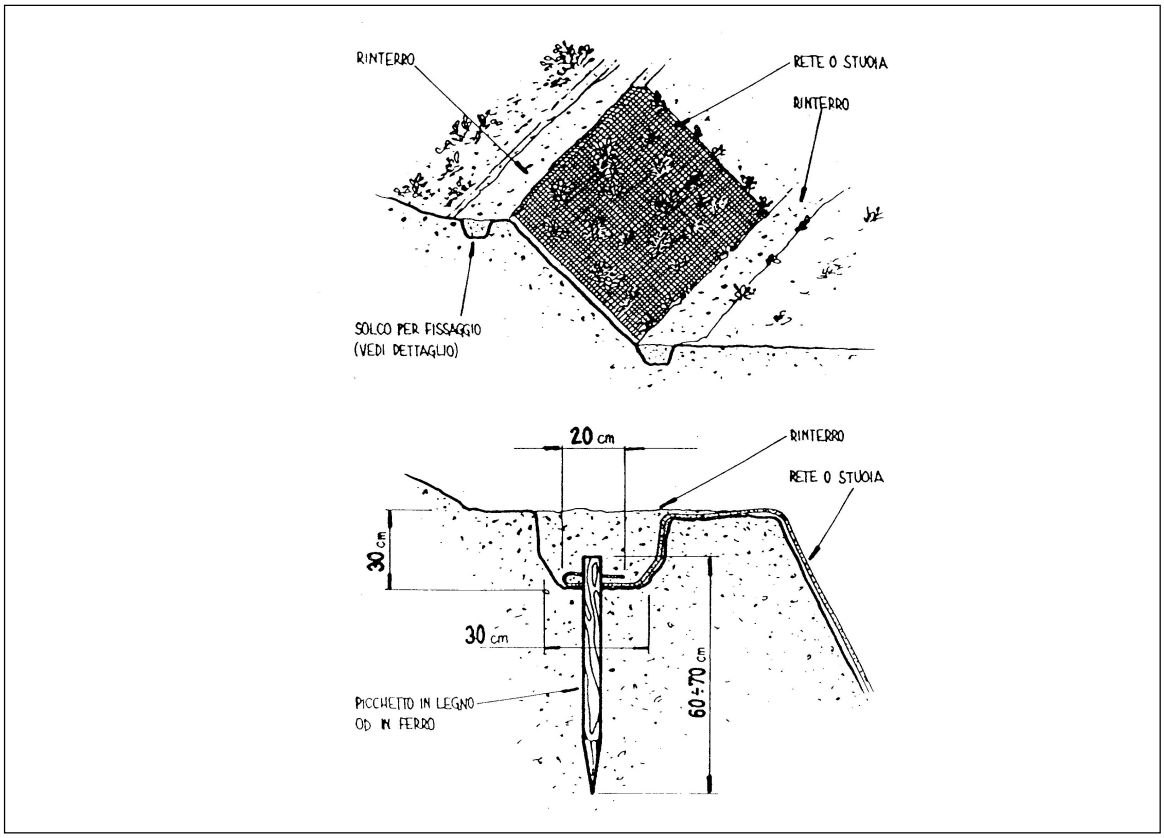
Tab. 14.9 - *Biostuoia in cocco: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,1		
Operaio comune	Ora	0,1		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Biostuoia in cocco	m²	1		
Picchetti o staffe acciaio a.m. D14 mm, L 1,2m	Kg	1,4		
Semina	m²	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**6,97 ÷ 7,75**
			£/m²	**13.500 ÷ 15.000**

Tab. 14.10 - *Biostuoia in cocco e paglia: analisi dei prezzi*

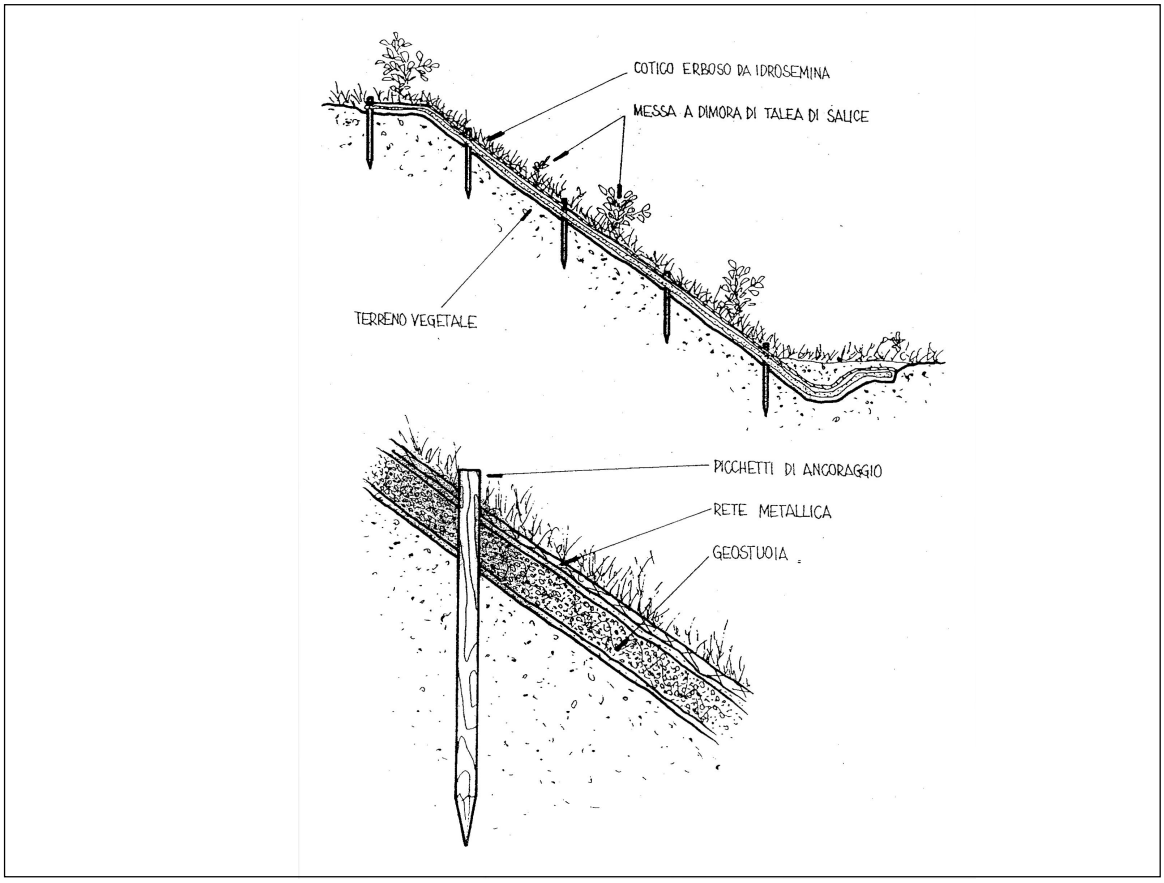
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Rete in fibra naturale di juta	m²	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Semina	m²	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**6,46 ÷ 7,75**
			£/m²	**12.500 ÷ 15.000**

Fig. 14.2 - *Biostuoia in cocco e paglia*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

Fig. 14.3 - *Biostuoia in cocco e paglia*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

14.1.8 Biotessile in juta (geojuta)

Descrizione sintetica: posa in opera di rete in fibra naturale (juta) a funzione antierosiva, fissata al terreno con picchetti di legno recuperati sul posto, previa semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate ed idonee al sito, con relativa concimazione (**fig. 14.4**).

Voce di capitolato: rivestimento di scarpate mediante stesura di un biotessile biodegradabile in juta, a maglia aperta di minimo 1 x 1 cm, peso non inferiore a 250 g/m² e fissaggio della stessa mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o in legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della stuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti devono essere sempre abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone, corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.

Campi di applicazione: scarpate, sponde fluviali e lacustri, anche irregolari ma con substrato terroso in superficie.
Applicabilità della tecnica in funzione idraulica, statica, naturalistica:
- sponde di corsi d'acqua a bassa pendenza e velocità della corrente, su substrati denudati o di neoformazione.

Materiali impiegati:
- stuoie biodegradabili in juta, maglia 1 x 1 cm, peso non inferiore a 250 gr/m²;
- staffe o picchetti in ferro acciaioso piegati a U ∅ 8 ÷ 12 mm, L = 20 ÷ 40 cm o in legno L = 50 ÷ 70 cm;
- miscela di sementi.

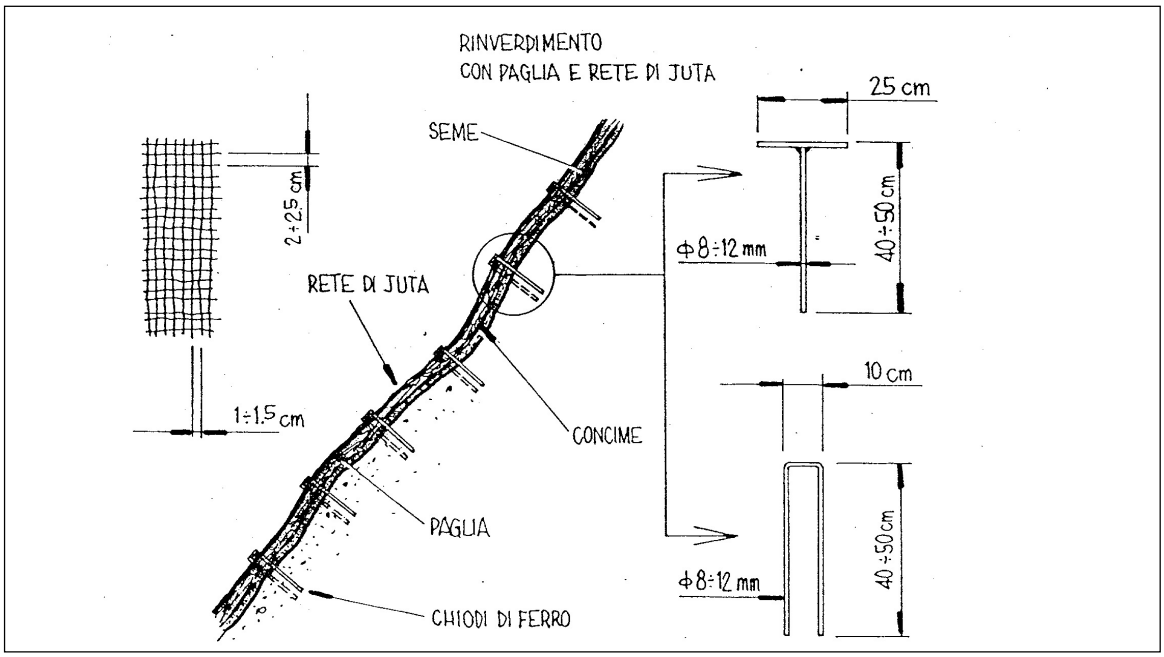
Modalità di esecuzione:
- regolarizzazione della scarpata mediante allontanamento di eventuali apparati radicali ed eliminazione di avvallamenti e piccoli dossi (irregolarità superficiali);
- semina;
- formazione di un solco di 20 ÷ 30 cm a monte della scarpata;
- posizionamento di un'estremità della stuoia all'interno del solco, fissaggio con staffe e copertura del solco con il terreno;
- stesura della stuoia lungo la scarpata e sovrapposizione dei teli contigui di almeno 10 cm;
- fissaggio della stuoia con staffe a "U" o picchetti o talee lungo le sovrapposizioni dei vari teli utilizzati e al centro della stessa.
  La densità dei picchetti aumenta all'aumentare della pendenza della scarpata:
  - < 20 ÷ 30°, 1 picchetto per m²;
  - ≥ 20 ÷ 30°, 2 ÷ 3 picchetti per m² ed è in funzione della consistenza del substrato;
- ricopertura dei bordi e fissaggio della stuoia al piede della scarpata;
- messa a dimora di arbusti mediante taglio a "L" della stuoia o allargamento delle maglie;
- eventuale semina di rincalzo, concime e irrigazione.

Prescrizioni: qualora si intenda abbinare la messa a dimora di arbusti autoctoni, è necessario intervenire sulla stuoia stesa con un taglio a croce o a "L" che consenta la formazione dello scavo per la messa a dimora della pianta.
Le stuoie fino alla messa in opera devono essere conservate inambiente idoneo, onde evitare l'umidità e l'imbibizione di acqua.
Qualora la stuoia venga impiegata lungo sponde di corsi d'acqua, è necesserio che la posa in

Tab. 14.11 - *Biotessile in juta: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Rete in fibra naturale di juta	m²	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Semina	m²	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**6,46 ÷ 7,75**
			£/m²	**12.500 ÷ 15.000**

Fig. 14.4 - *Biotessile in juta*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

opera avvenga procedendo nel senso contrario alla corrente, per evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra.

Limiti di applicabilità: scarpate a forte pendenza, substrati aridi e a eccessivo drenaggio, scarpate in roccia, sponde con forti sollecitazioni della corrente.

Vantaggi: protezione immediatadella superficie, facilità d'impiego e completa degradazione della stuoia. L'acqua s'infiltra, ma non ristagna.

Svantaggi: scarsa durata (1 o 2), scarsa resistenza a sollecitazioni (idraulica, caduta massi, *debris flow*).

Effetto: protezione immediata della superficie.
Le maglie della stuoia consentono alle piante di crescere, assicurando in tal modo la protezione della superficie anche una volta che la stuoia ha subito completa degradazione.
Il materiale sottostante la stuoia viene trattenuto, impedendone così il rotolamento verso valle.

Periodo di intervento:le stuoie non preseminate possono essere posizionate in qualsiasi periodo dell'anno.
Qualora vi siano abbinate semine e piantagioni i periodi di riferimento sono quelli primaverili-autunnali. Sono da evitare i periodi di gelo invernale e aridità estiva.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.11**.

14.1.9 Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico (tipo Armater)

Descrizione sintetica: Armater è una struttura tessile tridimensionale costituita da strisce di geotessile cucite tra di loro in modo tale da formare una serie di alveoli di forma esagonale (**figg. 14.5-14.6**).

Voce di capitolato: protezione di scarpate in terra mediante struttura sintetica a geocelle a nido d'ape costituita da strisce di altezza da 10 a 20 cm apribili a fisarmonica e collegate tra loro a formare una struttura tridimensionale a celle circa esagonali. La posa delle geocelle dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici, pietre, ecc. I pannelli andranno fissati in trincea in sommità con picchetti di ferro acciaioso sagomati ad "U" e lunghezza 40 ÷ 50 cm in quantità minima di 1 ogni 2 celle. Ulteriori ancoraggi saranno effettuati lungo il pendio in ragione di almeno due ancoraggi/m^2. Effettuate la posa si procederà al completo riempimento con terreno vegetale e quindi alla semina con le modalità di cui ai punti precedenti. Tale rivestimento va di regola abbinato con la messa a dimora di specie arbustive autoctone in zolla corredate da certificazione di origine o per talea con prelievo in loco dal selvatico.

Campi di applicazione: Armater viene utilizzato per pavimentazioni stradali bianche o in blocchi naturali o artificiali, in discariche con diverse funzioni di drenaggio, consolidamento delle fondazioni e protezione. È inoltre impiegato su scarpate a forte pendenza per il controllo dell'erosione.

Materiali impiegati:
- geotessile di base non tessuto in filamenti continui di poliestere parzialmente trattato con una resina;
- pannello a struttura alveolare, avente dimensioni di circa 150 m²;
- materiale sciolto di qualsiasi natura.

Le notevoli dimensioni di ogni pannello dopo la sua apertura sul terreno.

Modalità di esecuzione: il geotessile di base viene parzialmente trattato con una resina, in modo da ottenere una certa rigidezza, e poi rempito con materiale sciolto di qualsiasi natura. Le fasi possono essere così sintetizzate:
- preparazione del piano di posa, su cui intervenire con il geotessile;
- apertura e stesura del singolo elemento alveolare;
- ancoraggio della struttura cellulare alla sommità del piano di posa;
- picchettamento intermedio: 1 picchetto ogni 2 ÷ 3 m²;
- collegamento tra gli elementi alveolari per fissare i diversi moduli;
- riempimento della struttura con terreno secondo un certo ordine (prima la sommità, poi la base e a procedere dal basso verso l'alto, fino a raggiungere la sommità del piano di posa).

Vantaggi: la posa in opera di Armater è poco onerosa, grazie alle notevoli dimensioni di ogni pannello, dopo la loro apertura sul terreno.
Sui versanti: dimunuzione del ruscellamento superficiale del terreno e controllo dell'infiltrazione di acqua, grazie alla particolare struttura alveolare del geotessile.
Per le pavimentazioni stradali: riduzioni delle deformazioni su fondazioni e pavimentazioni stradali, per opera di un'omogenea distribuzione interna degli sforzi nello strato di fondazione.
Nelle discariche, Armater permette:
- *drenaggio*: la raccolta e l'evacuazione rapida di acqua e gas da decomposizione;
- *consolidamento*: l'azione di confinamento di uno strato del terreno di fondazione, cambiando la ripartizione interna degli sfozi e migliorando la stabilità della fondazione;
- *antipunzonamento*: si evita qualsiasi contatto con la geomembrana, escludendo quindi ogni pericolo di danneggiamento; inoltre, avendo una propria resistenza a trazione (che si può migliorare con un rinforzo di rete metallica) si diminuiscono enormemente gli sforzi di trazione che sono trasmessi dai rifiuti sulla geomembrana;
- *protezione da danneggiamento* da cause accidentali o vandalismo;
- *inerbimento del "capping"*: la struttura Armater consente un facile inerbimento dello strato di terreno esterno evitando lo scivolamento. L'abbinamento con una rete metallica a doppia torsione di base, consente di aumentare la resistenza a trazione della struttura e di garantire l'immorsatura sulla sommità della discarica, escludendo qualsisi ancoraggio iniziale o intermedio.

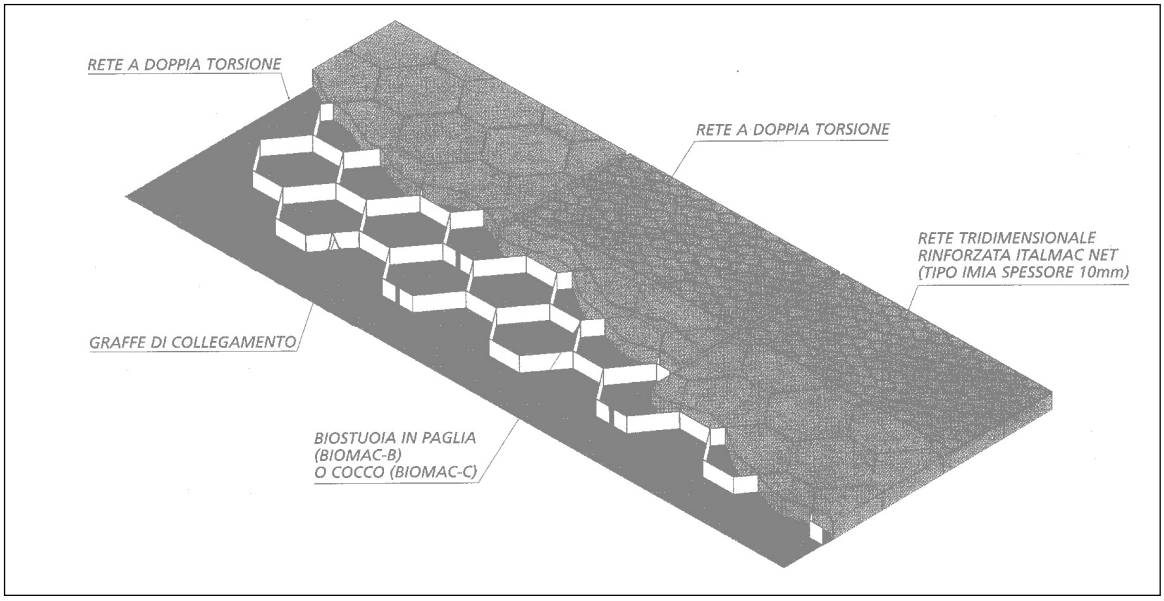
Svantaggi: il comportamento plastico della struttura richiede necessariamente l'abbinamento con un geotessile di base che ha funzione di separatore per possibile contaminazione dello strato di fondazione da parte del terreno in sito, qualore questo sia a matrice molto fine (terreni limoso-argillosi).

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.12**.

Tab. 14.12 - *Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico (tipo Armater): analisi dei prezzi*

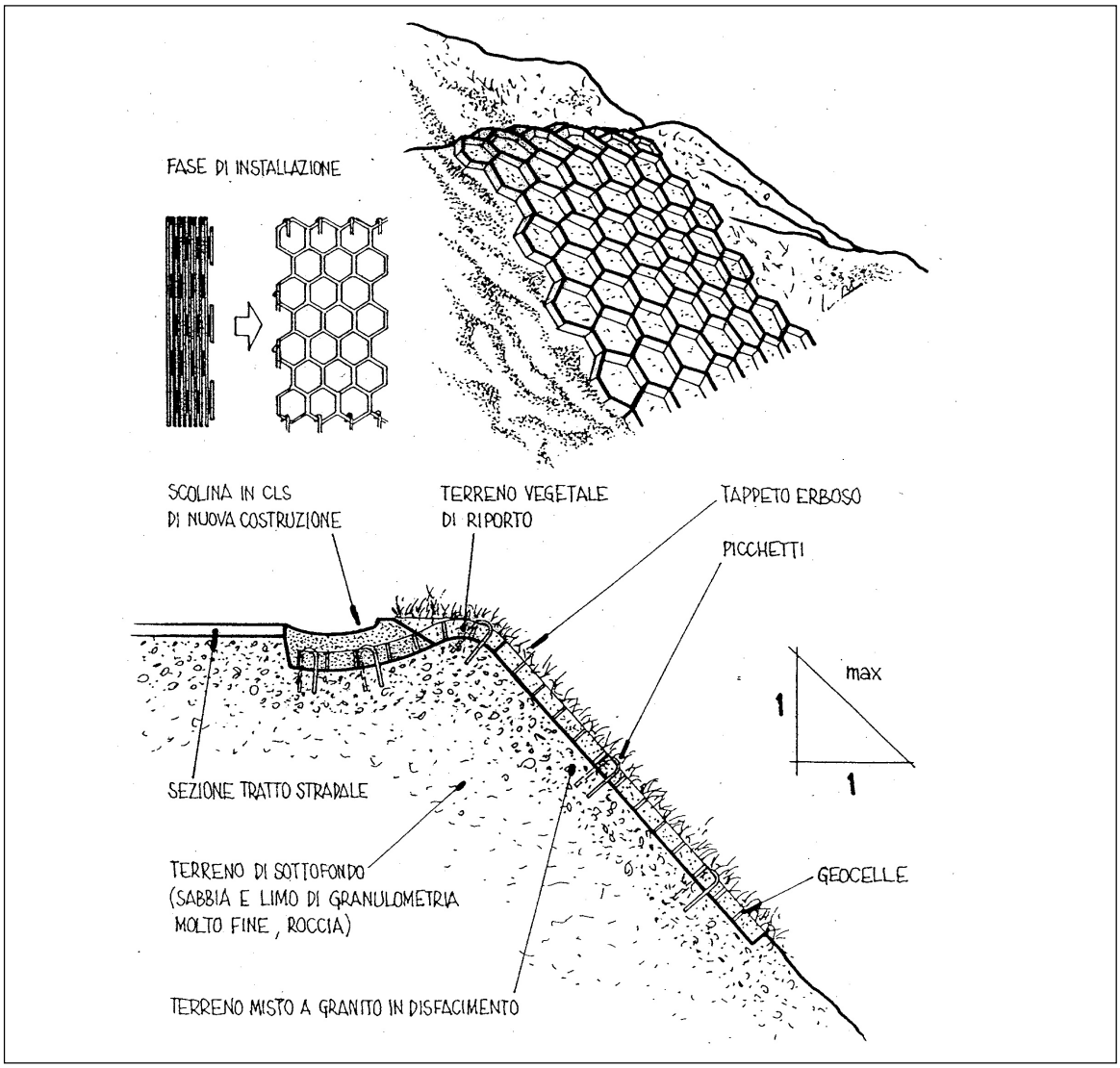
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,10		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,01		
Escavatore	Ora	0,05		
c) Materiali:				
Geocelle a nido d'ape h 10 cm	m²	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Terreno vegetale	m³	0,1		
Idrosemina	m²	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
Arbusti	Unità	0,5		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**25,82 ÷ 28,41**
			£/m²	**50.000 ÷ 55.000**

Fig. 14.5 - *Modulo di pannello tipo Armater*



Fonte: Maccaferri spa, 1999.

Fig. 14.6 - *Geocelle a nido d'ape (tipo Armater)*



Fonte: Schede Armater in "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

14.1.10 Geostuoia tridimensionale materiale sintetico

Descrizione sintetica: stuoia tridimensionale costituita da filamenti sintetici aggrovigliati in modo da trattenere le particelle di materiale inerte terroso. Tale stuoia viene impiegata per il rivestimento di sponde e versanti soggetti ad erosione superficiale. La stuoia viene assicurata al terreno mediante l'infissione di picchetti ed interrata in solchi appositamente approntati sia a monte che a valle del versante. La stuoia deve essere abbinata ad un intasamento con materiale inerte terroso e a semina o idrosemina. Possono essere messe a dimora anche specie arbustive autoctone (**fig. 14.7**).

Voce di capitolato:
- nylon;
- polipropilene;
- polietilene;
- polietilene ad alta densità.

Rivestimento di scarpate mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon, polipropilene, polietilene e polietilene ad alta densità a seconda del prodotto) di spessore minimo 8 mm e grado di vuoto non inferiore al 90%; fissaggio della stessa mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con staffe o picchetti in ferro o legno in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti devono essere sempre abbinati ad un intasamento con uno strato di terreno vegetale e ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.

Campi di applicazione: versanti soggetti ad erosione superficiale.

Materiali impiegati:
- geostuoia sintetica tridimensionale di nylon, polipropilene, polirtilrnr e polietilene ad alta densità di spessore min 1 cm;
- picchetti in ferro o staffe metalliche ∅ min 8 mm;
- inerte terroso;
- sementi;
- arbusti o talee di salice.

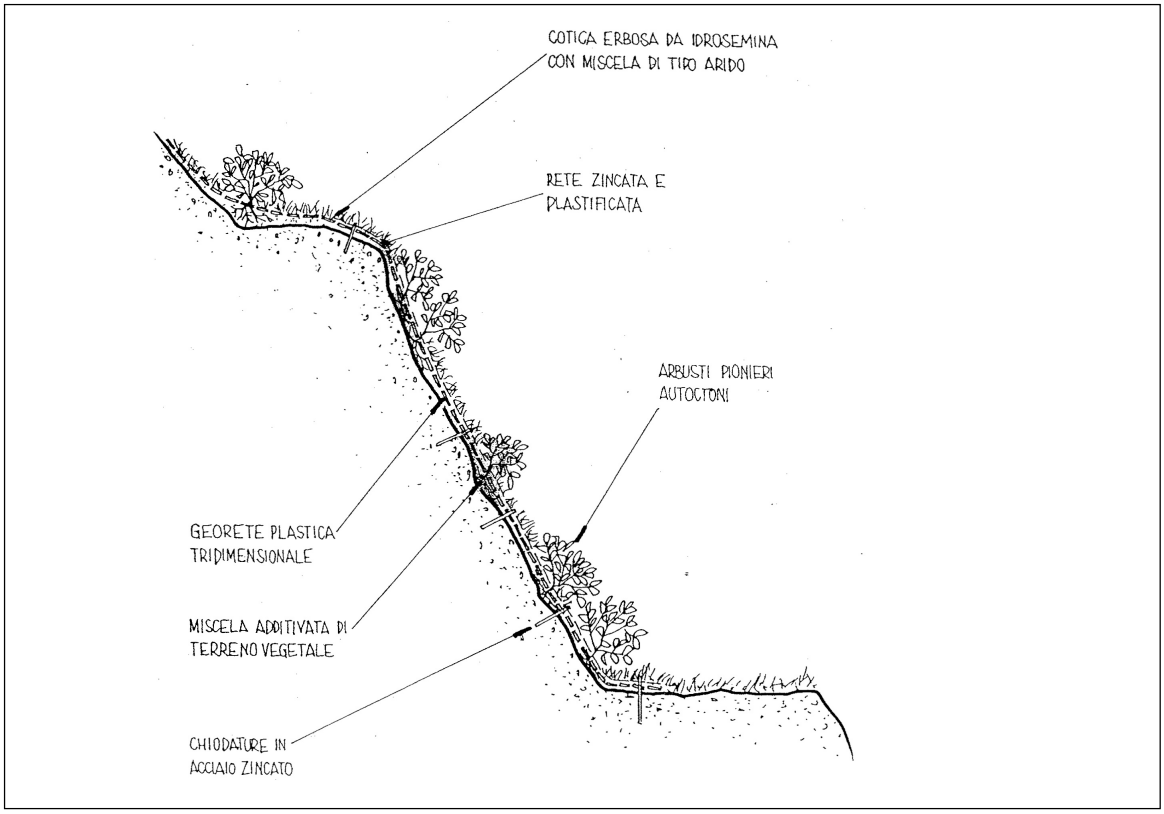
Modalità di esecuzione:
- preparazione del versante con allontanamento del materiale più grossolano, ramaglia e radici in modo da ottenere una superficie il più regolare possibile;
- formazione di un solco di almeno 30 cm di profondità nel quale porre il lembo ripiegato della geostuoia, assicurata con staffe metalliche e ricoprimento del solco stesso con il terreno proveniente dallo scavo;
- stesura della geostuoia lungo il versante, assicurandosi che la stessa sia a contatto con il terreno sottostante, senza essere troppo tesa;
- picchettatura della geostuoia al versante con picchetti in quantità dipendente dalla pendenza del versante (da 1 a 3 picchetti o staffe per m^2);
- intasamento con inerte terroso;
- semina;
- messa a dimora di arbusti o talee di salice, previa formazione di taglio a croce sulla geostuoia.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.13**.

Tab. 14.13 - *Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,10		
Operaio comune	Ora	0,10		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
Escavatore	Ora			
c) Materiali:				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico	m^2	1		
Terreno vegetale	m^3	0,02		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Semina	m^2	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**12,92 ÷ 15,49**
			£/m^2	**25.000 ÷ 30.000**

Fig. 14.7 - *Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

14.1.11 Geostuoia (o georete) tridimensionale in materiale sintetico bitumata in opera a freddo

Descrizione sintetica: materiale sintetico impiegato per il rivestimento di superfici a contatto con l'acqua.
La geostuoia è costituita da materiale sintetico tridimensionale, con spessore minimo di 18 mm e resistente alla trazione. Il fissaggio alla scarpata avviene mediante l'infissione di staffe o picchetti. Viene abbinato all'intasamento con ghiaino, alla bitumazione e alla semina (**fig. 14.8**).

Voce di capitolato:
• nylon;
• polipropilene;
• polietilene;
• polietilene ad alta densità.
Rivestimento di superfici generalmente a contatto con l'acqua (canalette, fossi di guardia, sponde di canali e corsi d'acqua, ecc.) mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon, polipropilene, polietilene e polietilene ad alta densità a seconda del prodotto) di almeno 18 mm di spessore, resistenza a trazione non inferiore a 2,0 kN/m e grado di vuoto non inferiore al 90%; fissaggio della stessa mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con staffe metalliche di diametro minimo 8 mm, in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Dovrà essere accurato il fissaggio di eventuali fasce parallele di georete tenendo conto in particolare della direzione del flusso.
Tale rivestimento sarà intasato con uno spessore di ghiaino e bitumato a freddo in almeno due passate ghiaia/bitume alternate con peso complessivo non inferiore a 15 kg/m^2 e dovrà sempre essere abbinato ad una semina in doppia passata, che preceda e segua l'intasamento e la bitumazione, con le modalità di cui ai punti precedenti.
Possono essere eseguiti, a posteriori, dei tagli a croce per la messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine.

Campi di applicazione: superfici generalmente a contatto con l'acqua, quali canalette, fossi di guardia, sponde di canali e di corsi d'acqua.

Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: corsi d'acqua a bassa pendenza, bassa velocità, basso trasporto solido e substrato a granulometria fine.

Materiali impiegati:
• geostuia tridimensionale in matreiale sintetico: nylon, polipropilene, polietilene ad alta densità. Spessore minimo 18 mm, resistente alla trazione non inferiore a 2 kn/m, grado di vuoto non inferiore al 90%;

- staffe metalliche ∅ min 8 mm;
- ghiaino per intasamento;
- bitume;
- miscela di sementi.

Modalità di esecuzione:
- riprofilatura del terreno con asportazione di eventuali apparati radicali ed eliminazione delle irregolarità superficiali, in modo da assicurare l'aderenza della geostuoia;
- formazione di un solco di almeno 50 cm a monte della scarpata;
- semina a spaglio;
- stesura della geostuoia all'interno del solco e suo fissaggio con staffe metalliche;
- copertura del solco;
- stesura della geostuoia lungo la scarpata e fissaggio con staffe in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia;
- riempimento con ghiaino;
- bitumatura a freddo che leghi i singoli elementi mantenendo una porosità sufficiente per permettere l'attecchimento e lo sviluppo delle specie vegetali;
- risemina a spaglio o idrosemina.

Prescrizioni:
- i sormonti laterali dovranno essere di almeno 10 cm;
- la stesura e il fissaggio della georete deve tenere conto della direzione del flusso dell'acqua, onde evitare lo scalzamento della georete per l'infiltrazione dell'acqua;
- qualora la stuoia venga impiegata lungo le sponde dei corsi d'acqua è necessario che la posa in opera avvenga procedendo nel senso contrario alla corrente (in tal modo i sormonti sono automaticamente posizionati ad evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra).

Vantaggi: copertura immediata della superficie.

Svantaggi: costi elevati.

Effetti: effetto stabilizzante, funzionale e visivo immediati.

Periodo di intervento: stesura della georete e bitumatura possono essere eseguite in qualsiasi periodo dell'anno.
Le semine dovranno essere effettuate dalla primavera all'autunno con esclusione dei periodi di siccità; l'eventuale messa a dimora di specie arbustive dovrà avvenire durante il periodo di riposo vegetativo con esclusione dei periodi di gelo invernale.

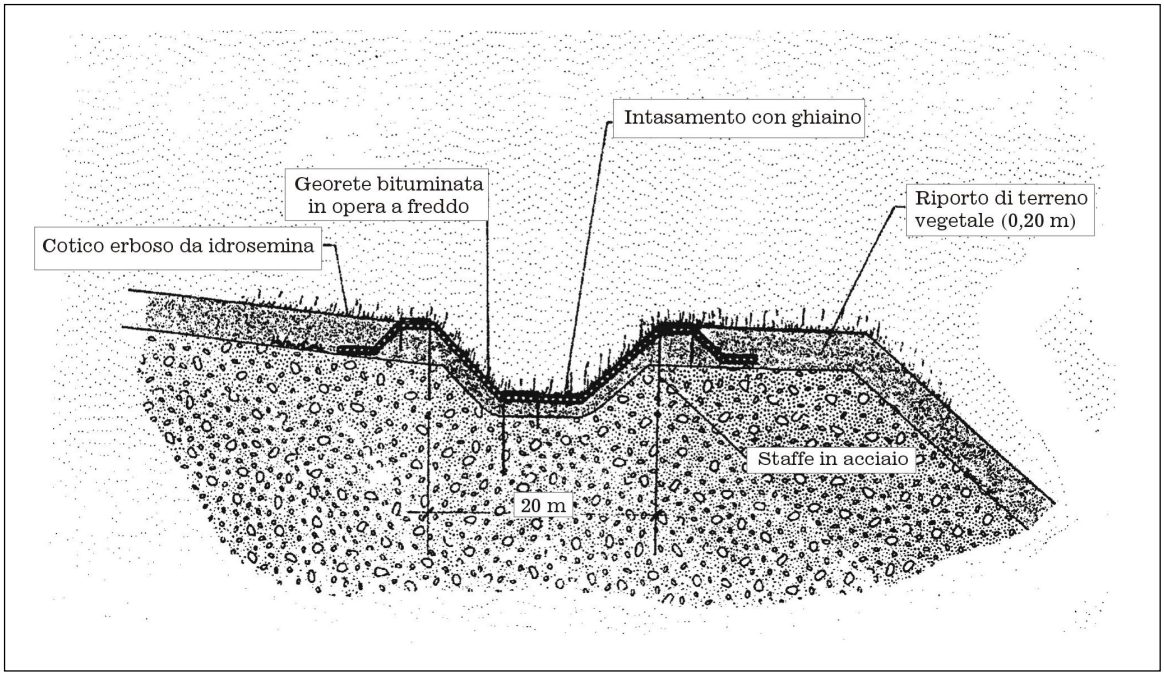
Possibili errori:
- insufficiente fissaggio con staffe della georete al subrstrato, evidente nei casi di eventi meteorici eccezionali;
- insufficiente o assente risvolto e fissaggio della georete nel solco a monte e avalle della scarpata;
- eccesso di bitumatura.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.14**.

Tab. 14.14 - *Geostuoia bitumata a freddo: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,50		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,02		
Escavatore	Ora	0,02		
Pompa irroratrice	Ora	0,01		
c) Materiali:				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico	m^2	1		
Sfridi	%	55		
Ghiaino	Kg	20		
Bitume	Kg	1,5		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Idrosemina	m^2	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**27,89 ÷ 33,57**
			£/m^2	**54.000 ÷ 65.000**

Fig. 14.8 - *Esempio di geostuoia bitumata a freddo, in sezione*


Intasamento con ghiaino
Georete bituminata in opera a freddo
Riporto di terreno vegetale (0,20 m)
Cotico erboso da idrosemina
Staffe in acciaio
20 m

14.1.12 Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo

Descrizione sintetica: materiale sintetico impiegato per il rivestimento di superfici a contatto con l'acqua. La geostuoia è costituita di materiale sintetico tridimensionale, con spessore minimo di 18 mm e resistente alla trazione. La geostuoia viene bitumata industrialmente. Il fissaggio alla scarpata avviene mediante l'infissione di staffe o picchetti. Vengono abbinate a semina e messa a dimora di arbusti (**fig. 14.9**).

Voce di capitolato: rivestimento di superfici spondali con lavorazione in presenza d'acqua (canalette, fossi di guardia, canali e corsi d'acqua) mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon) di almeno 18 mm di spessore; la geostuoia avente resistenza a trazione non inferiore a 2,5 kN/m, temperatura di fusione non inferiore a 215 °C intasata industrialmente a caldo con una miscela permeabile pietrisco-bitume-additivi dovrà avere una permeabilità sotto battente idraulico di 10 cm non inferiore a 10^{-2} m/s ed un peso complessivo non inferiore a 20 kg/m^2 ; fissaggio della stessa mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con staffe metalliche di diametro opportuno ed in quantità tali da garantire stabilità ed aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Tale rivestimento deve essere sempre abbinato ad una semina, che precede la stesura della geostuoia, di minimo 40 g/m^2 di semente con le modalità di cui ai punti precedenti. Una idrosemina a spessore di rincalzo dovrà essere eseguita anche sopra la georete ove la prima semina sia avvenuta in periodo stagionale sfavorevole. Possono inoltre essere eseguiti, a posteriori, dei tagli a croce per la messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Dovrà essere accurato il fissaggio di eventuali fasce parallele di georete, in particolare tenendo conto della direzione del flusso.

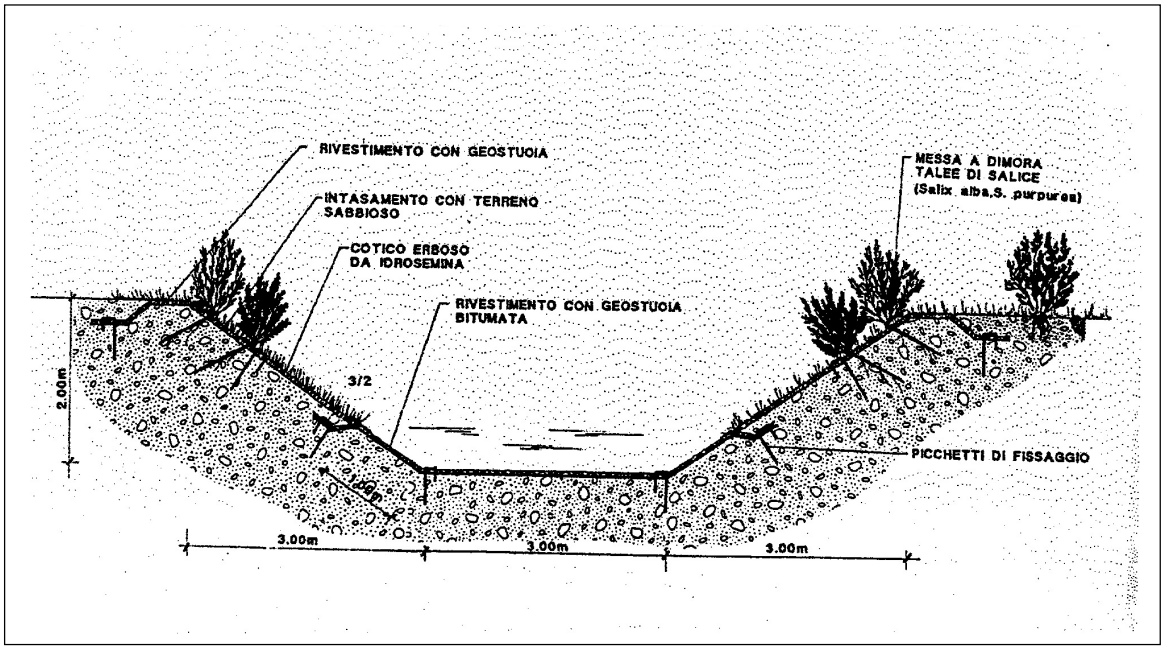
Campi di applicazione: superfici generalmente a contatto con l'acqua, quali canalette, fossi di guardia, sponde di canali e di corsi d'acqua.

Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: corsi d'acqua a bassa pendenza, bassa velocità, basso trasporto solido e substrato a granulometria fine.

Materiali impiegati:
- geostuoia tridimensionale in materiale sintetico: nylon, polipropilene, polietilene ad alta densità. Spessore minimo di 18 mm, resistente alla trazione non inferiore a 2,5 kN/m, temperatura di fusione non inferiore a 215 °C, intasata industrialmente a caldo con una miscela permeabile pietrisco/bitume/additivi;
- staffe metalliche ∅ 8 mm minimo;
- miscela di sementi.

Modalità di esecuzione:
- riprofilatura del terreno con asportazione di eventuali apparati radicali ed eliminazione delle irregolarità superficiali, in modo da assicurare l'aderenza della geostuoia;
- formazione di un solco di almeno 50 cm a monte della scarpata;
- semina a spaglio;
- stesura della geostuoia all'interno del solco e suo fissaggio con staffe metalliche;

Fig. 14.9 - *Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo*



Tab. 14.15 - *Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,10		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,05		
Escavatore	Ora	0,05		
c) Materiali:				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebituminata a caldo	m^2	1		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Idrosemina	m^2	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**42,35 ÷ 49,06**
			£/m^2	**82.000 ÷ 95.000**

- copertura del solco;
- stesura della geostuoia lungo la scarpata e fissaggio con staffe in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia;
- risemina a spaglio o idrosemina.

Prescrizioni:
- i sormonti laterali dovranno essere di almeno 10 cm;
- la stesura e il fissaggio della georete deve tenere conto della direzione del flusso dell'acqua, onde evitare lo scalzamento della georete per l'infiltrazione dell'acqua;
- qualora la stuoia venga impiegata lungo le sponde dei corsi d'acqua è necessario che la posa in opera avvenga procedendo nel senso contrario alla corrente (in tal modo i sormonti sono automaticamente posizionati ad evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra).

Vantaggi: facilità d'impiego, copertura immediata della superficie.

Svantaggi: costo elevato.

Effetto: stabilizzante, funzionale e visivo immediato.

Periodo di intervento: stesura della georete e bitumatura possono essere eseguite in qualsiasi periodo dell'anno. Le semine dovranno essere effettuate dalla primavera all'autunno con

esclusione dei periodi di siccità; l'eventuale messa a dimora di specie arbustive dovrà avvenire durante il periodo di riposo vegetativo con esclusione dei periodi di gelo invernale.

Possibili errori:
- insufficiente fissaggio con staffe della georete al subrstrato, evidente nei casi di eventi meteorici eccezionali;
- insufficiente o assente risvolto e fissaggio della georete nel solco a monte e avalle della scarpata.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.15**.

14.1.13 Rivestimento vegetativoin rete metallica a doppia torsione e geostuoia tridimensionale

Descrizione sintetica: copertura di scarpate soggette ad erosione mediante la stesura di una rete sintetica tridimensionale, spessore minimo 10 mm, sormontata da una rete metallica a doppia torsione. Rete e geostuoia vengono fissati al terreno mediante picchetti, che vengono legati a monte e a valle con una fune di acciaio. Nel caso di versanti molto ripidi e particolarmente friabili, tutti i picchetti vengono collegati mediante la fune d'acciaio per migliorare l'aderenza al substrato. Il rivestimento viene abbinato a idrosemina a spessore e messa a dimora di arbusti autoctoni e di talee di specie con capacità di propagazione vegetativa.

Voce da capitolato:
- in rete zincata;
- in rete zincata e plastificata;
- in geocomposito.

Rivestimento di scarpate in terreno molto ripide soggette a fenomeni di erosione accelerata mediante stuoia tridimensionale di spessore minimo 10 mm, di massa areica minima pari a 300 g/m² ed una rete metallica a doppia zincatura e doppia torsione, ∅ 2,7 mm maglia 6 x 8 cm. Le superfici da trattare per il rivestimento dovranno essere liberate da radici, pietre, ecc. ed eventuali svuoti andranno riempiti in modo da ottenere una superficie uniforme affinché la biostuoia e la rete metallica possano adagiarsi perfettamente al suolo. Prima si stenderà sulla pendice la rete tridimensionale che verrà picchettata a monte, mentre i teli verranno stesi verticalmente uno vicino all'altro con una sovrapposizione di circa 5-10 cm onde evitare l'erosione fra le fasce. La picchettatura in scarpata sarà in ragione di 1-2 picchetti per m²; gli stessi saranno metallici a forma di cambretta o a "T", formati con tondino d'acciaio di ∅ 6 mm e lunghezza 20 cm. Successivamente verrà fissata al terreno la rete metallica: essa verrà picchettata a monte e lungo le fasce con picchetti d'acciaio a "T", della lunghezza di 50-100 cm dello spessore di 12-14 mm (in funzione della consistenza del terreno di posa); la picchettatura sulla rete metallica sarà in ragione di 1-2 picchetti per m² a seconda della regolarità della superficie del terreno, inclusa eventuale perforazione e boiaccatura con miscela acqua e cemento e compreso il fissaggio in testa e al piede a mezzo fune d'acciaio; il tutto nelle quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della rete. Nel caso di rocce particolarmente friabili verranno operate delle legature in fune d'acciaio anche tra i chiodi lungo la superficie a miglioramento dell'aderenza della rete al substrato. Tale rivestimento va in genere abbinato con un'idrosemina a *mulch* a forte spessore realizzata in maniera da intasare completamente lo spessore della rete tridimensionale.

Campi di applicazione: scarpate soggette ad erosione.

Materiali impiegati:
- geostuoia tridimensionale min. 10 mm di spessore e massa minima pari a 300 g/m²;
- rete metallica doppia torsione ∅ 2,7 mm, maglia 6 x 8 cm;
- picchetti metallici a forma di cambretta o a "T", ∅ 6 mm, L = 20 cm per la scarpata;
- picchetti d'acciaio a "T", ∅ 12 ÷14 mm, L = 50 ÷100 cm a monte della scarpata;
- fune d'acciaio;
- idrosemina a *mulch*;
- talee e arbusti.

Modalità di esecuzione:
- regolarizzazione della scarpata con allontanamento di radici, massi, ecc.;
- stesura per file parallele dei teli di geostuoia tridimensionale, avendo cura di sovrapporre lateralmente i teli per almeno 10 cm;
- fissaggio della geostuoia a monte e lungo la scarpata mediante i picchetti in acciaio, secondo quantità variabili dipendenti dalla pendenza della scarpata stessa;
- stesura e fissaggio della rete metallica a doppia torsione al di sopra della geostuoia;
- qualora si renda necessario per motivi di ancoraggio dei tondini, gli stessi dovranno essere posti in opera previa perforazione e successiva boiaccatura con miscela di acqua e cemento;
- legatura dei tondini, dotati di anello, mediante fune di acciaio sia a monte che a valle della scarpata;
- idrosemina a *mulch* in quantità tale da garantire il riempimento degli spazi della geostuoia tridimensionale;
- messa a dimora di talee e arbusti, previa formazione nella geostuoia di un taglio a croce.

Prescrizioni:
- la sovrapposizione dei teli si rende necessaria per evitare l'erosione laterale delle fasce stese;
- la geostuoia e la rete dovranno esere perfettamente adagiate e a contatto con il suolo sottostante, avendo cura di evitare la formazione di spazi vuoti;
- la quantità di picchetti per m² dovrà essere

Tab. 14.16 - *Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione e geostuoia tridimensionale*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,05		
Verricello	Ora	0,30		
Compressore con pistola perforatrice	Ora	0,20		
c) Materiali:				
Geostuoia tridimensionale abbinata a rete metallica	m^2	1		
Picchetti	Kg	2,8		
Fune	m	0,2		
Morsetto serrafune d'acciaio	cad	2		
Malta antiritiro	Kg	0,2		
Idrosemina a spessore	m^2	1		
Staffe in tondino di ferro	Kg	1,4		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**49,06 ÷ 54,23**
			£/m^2	**95.000 ÷ 105.000**

valutata in base alla pendenza della scarpata, comunque in quantità non inferiori a 1 ÷ 2 picchetti per m^2.

Vantaggi: metodo di rivestimento rapido e di facile realizzazione. Immediata funzione antierosiva.

Svantaggi: la presenza di reti metalliche sulla superficie spondale artificializza la struttura e può creare pericolo per la fauna se non resa accuratamente aderente al substrato.

Effetto: rapido arresto dell'erosione superficiale.

Periodo di intervento: la stesura delle reti e delle geostuoie può avvenire in qualsiasi periodo dell'anno, mentre le semine verrano eseguite da marzo a settembre e la messa a dimora di talee e arbusti nel periodo di riposo vegetativo.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.16**.

14.2 Interventi stabilizzanti

14.2.1 Messa a dimora di talee

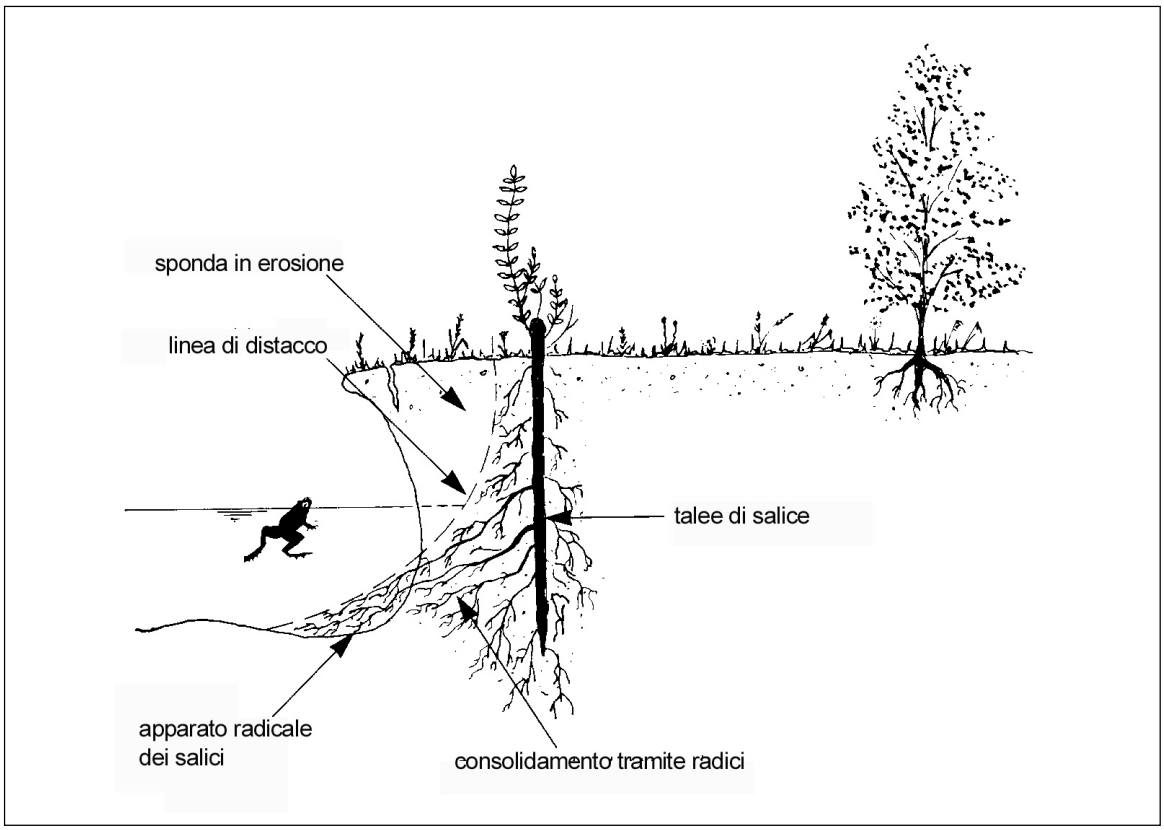
Descrizione sintetica: infissione nel terreno o nelle fessure tra massi di pezzi di talee di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativo (**fig. 14.10**).

Descrizione voce da capitolato:
- salici;
- tamerici;
- altre specie.

Fornitura e messa a dimora di talee legnose di specie arbustive idonee a questa modalità di trapianto vegetativo prelevate dal selvatico di due o più anni di età, di ∅ 1 ÷ 5 cm e lunghezza minima di 50 cm, messe a dimora nel verso di crescita previo taglio a punta e con disposizione perpendicolare o leggermente inclinata rispetto al piano di scarpata. Le talee verranno infisse a mazza di legno o con copritesta in legno, previa eventuale apertura di un foro con punta di ferro, e dovranno sporgere al massimo per un quarto della loro lunghezza adottando, nel caso, un taglio netto di potatura dopo l'infissione. La densità di impianto dovrà essere di 2 ÷ 10 talee per m^2 a seconda delle necessità di consolidamento. Le talee dovranno essere prelevate, trasportate e stoccate in modo da conservare le proprietà vegetative adottando i provvedimenti cautelativi in funzione delle condizioni climatiche e dei tempi di cantiere. La messa a dimora dovrà essere effettuata di preferenza nel periodo invernale e a seconda delle condizioni stagionali anche in altri periodi con esclusione del periodo di fruttificazione.

Materiali:
- talee di salice: L = 80 cm; ∅ = 5 ÷ 8 cm;
- getti non ramificati, di 2 o più anni (di specie con capacità di propagazione vegetativa: ad esempio, tamerici): ∅ = 3 ÷ 5 cm, L = 0,60 ÷ 1,0 m.

Fig. 14.10 - *Talee arbustive nelle difese spondali*



Modalità di esecuzione:
- apertura di un foro, con una punta di ferro, nelle fessure delle difese spondali in pietrame o creazione di un foro nel terreno;
- introduzione delle talee: devono sporgere all'esterno al massimo per un quarto (10 cm circa) della loro lunghezza (pari alla presenza di 7 ÷ 8 gemme avventizie) e, nel caso di scogliere, devono essere poste a contatto con il terreno a tergo dei massi.
  L'infissione delle talee nel terreno deve essere perpendicolare o leggermente inclinata, mediante mazza in legno e secondo il verso di crescita delle piante.
- riempimento degli spazi vuoti con terreno vegetale o con materiale fine e successivo costipamento.

Campi di applicazione: scarpate a pendenza limitata, sponde fluviali e lacustri; interstizi e fessure di scogliere, muri, gabbionate; come picchetti vivi nelle posa di reti, stuoie, fascinate, viminate.

Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: applicabilità universale con esclusione di substrati litoidi e particolarmente xerici o, in ambito fluviale, di correnti e trasporto solido particolarmente elevati.

Limiti di applicabilità: altitudine e condizioni microclimatiche (relativamente alle specie impiegate); natura del substrato.

Vantaggi:
- sistemazione a basso prezzo e semplice reperibilità dei materiali;
- di semplice realizzazione;
- puntuale inizialmente, ma coprente dopo lo sviluppo;
- favorisce l'evoluzione degli ecosistemi, soprattutto in ambienti umidi (se si usano i culmi di canna).

Svantaggi:
- la stabilità della scarpata ed il consolidamento superficiale del terreno sono limitati sino allo sviluppo di un adeguato apparato radicale;
- l'attecchimento delle piante non è garantito, a meno che le condizioni della stazione siano particolarmente favorevoli.

Effetto: copertura delle scarpate con cespugli. Più lunghe sono le talee conficcate nel terreno, maggiore l'effetto stabilizzante/consolidante in profondità. Effetto di drenaggio dovuto ad assorbimento e traspirazione del materiale vivo impiegato.

Periodo di intervento: periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori:
- talee troppo corte (lunghezza inferiore a 60 cm);
- diametro della talea eccessivamente piccolo;
- le talee non sono infisse nel terreno in contropendenza rispetto alla scarpata;

- le talee vengono infisse nel verso contrario a quello di crescita;
- la parte che rimane fuori dal terreno, si secca perché troppo lunga e quindi eccessivamente esposta agli agenti atmosferici (gelo, vento, sole).

Scelta del periodo di raccolta e messa a dimora inadeguato.

Tab. 14.17 - *Messa a dimora di talee: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,05		
Operaio comune	Ora	0,05		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,05		
Motosega	Ora	0,05		
c) Materiali:				
Talee	cad	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**1,03 ÷ 2,58**
			£/m²	**2.000 ÷ 5.000**

Tab. 14.18a - *Talee utilizzate per la sistemazione delle rive dei corpi d'acqua (DIN 19657)*

N.	Specie	Altezza come albero (A) o cespuglio (C) (m)	Gruppo di suoli ai sensi dell'art. 32 ed altre caratteristiche del suolo
1	*Salix appendiculata*	4C 8A	Da 3 a 10; marne e scisti particolarmente freschi, da neutri a leggermente alcalini
2	*Salix glabra*	2C	Da 3 a 10; umidi, filtranti, anche dolomitici, da alcalini a neutri
3	*Salix hastata*	1,5C	1,5; su calcari, freschi e filtranti fino a bagnati; da neutri a debolmente acidi
4	*Salix waldsteniana*	1,5C	1,5; su calcari, freschi e filtranti, da neutri a debolmente acidi
5	*Salix alba*	20A	Da 2 a 7; periodicamente inondati, neutri
6	*Salix daphnoides*	20A 10C	Da 2 a 9; solo su calcari, da debolmente alcalini a debolmente acidi
7	*Salix elaeagnos*	6C 16A	Da 2 a 7, 10; bagnati e filtranti, temporaneamente secchi, da alcalini a neutri
8	*Salix aurita*	2C	1, da 6 a 9; bagnati e filtranti o stagnanti, periodicamente inondati, acidi
9	*Salix cinerea*	Da 2 a 3 (6) C	1, da 6 a 9; bagnati e filtranti o stagnanti, periodicamente inondati, acidi
10	*Salix fragilis*	15A	1, da 6 a 8; periodicamente inondati, sopportano ristagni, acidi, per lo più poveri di calce
11	*Salix nigricans*	4C 6A	Da 4 a 7; bagnati e filtranti, temporaneamente anche inondati, sopportano ristagni, da neutri a debolmente acidi
12	*Sallix pentandra*	6C 15A	1, da 4 a 6; bagnati e filtranti o stagnanti, per lo più poveri di calce, da mediamente acidi a neutri
13	*Salix purpurea*	4(6)C	Da 2 a 7; per lo più ricchi di calce, anche dolomitici, temporaneamente secchi e periodicamente inondati, da neutri ad alcalini
14	*Salix triandra*	4C 7A	Da 2 a 7; da freschi a bagnati, periodicamente inondati, da neutri ad alcalini
15	*Salix viminalis*	5C 10A	Da 1 a 6; bagnati e filtranti, periodicamente inondati, neutri
16	*Populus nigra*	30A	Da 1 a 7; periodicamente inondati, neutri
17	*Ligustrum vulgare*	2C	Da 2 a 7, secchi, da neutri ad alcalini, anche dolomitici

Tab. 14.18b - *Talee utilizzate per la sistemazione delle rive dei corpi d'acqua (DIN 19657)*

Specie	Altezza di crescita (m)	Ambito di applicazione			Osservazioni
		Tipi di suolo	Grado di umidità	Nutrimenti e carbonati	
Salix purpurea	2-3, rar. fino a 10	Da G ad A	Da II a VII, anche ts	Da nu a nu' da c ad a'	Resistenti alla siccità, anche su suoli grezzi, consolidante
Salix triandra	2-4, rar. fino a 10	Da S ad A	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a	Consolidante
Salix viminalis	3-5	G, S, L	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a'	Anche su suoli grezzi
Salix fragilis	8-20	Da G ad F, anche h	Da III a V, anche ts	nu, b, da c' ad a'	Anche su suoli con cattiva aerazione e su suoli grezzi
Salix alba	10-30	Da G ad A	Da III a V, anche ts	nu, b, da c ad a'	Su suoli ben aerati e su suoli grezzi
Salix elaeagnos	2-6	Da G ad A	Da V a VII, anche ts	nu', b, c	Colonizzatore, anche su pendii marnosi instabili, consolidante
Salix nigricans	Fino a 4	Da G ad A anche h	Da II a IV, anche ts	nu, b, c	Soprattutto per suoli calcarei freschi e umidi
Salix pentandra	2-5, rar. fino a 15	A, T anche h	II, III	nu, b, da c' ad a'	––
Salix daphnoides	5-10	Da G ad A	Da II a V anche ts	Da nu' a nu, b, c, n	Su suoli grezzi, consolidante
Salix appendiculata	1-3, rar. fino a 8	pL, L, pA, A	Da III a V	nu, b, c, n	In gole e solchi di slavine
Salis hastata	Fino a 1,5	hP, hL	Da III a V	nu, b, c'	—
Salix glabra	Fino a 2	P, L	III	Da nu' a nu, c	Anche su detriti dolomitici
Salix waldsteiniana	Fino a 1	hL, hA	II, V	Da nu' a nu, b, da c a c'	Su suoli ben aerati
Populus spec.					Vedi tabella 24

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

Note:
- la densità d'impianto è di 2 ÷ 10 talee per m² in relazione alle sollecitazioni cui sarà sottoposta la struttura ed alle sue caratteristiche costruttive (l'uso di massi di piccole dimensioni nelle difese spondali comporta l'impiego di un maggior numero di talee);
- la densità d'impianto aumenta all'aumentare della pendenza del terreno: da 2-5 talee/m² a 5-10 talee/m²;
- nel caso in cui le talee vengano raccolte molto tempo prima della messa a dimora, dovranno essere conservate a basse temperature (4 ÷ 5 °C) in celle frigorifere o in vasche di acqua fredda, ma comunque utilizzate nel periodo di ripresa vegetativa;
- è opportuno preventivare una fallanza del 30 ÷ 40% nell'attecchimento ed un relativo risarcimento dopo 1 ÷ 2 anni;
- per facilitare l'introduzione nel terreno delle talee la parte terminale va tagliata a punta; se viene utilizzata la mazza per battere le talee è preferibile che essa sia di legno o che venga usato un legno copritesta, al fine di evitare di danneggiare la talea;
- la disposizione delle talee deve essere casuale sia per motivi estetici, che funzionali;
- la piantagione di arbusti nelle fessure comporta, un miglioramento statico dell'opera, in quanto la crescita in profondità delle radici e l'aumento in spessore delle talee rende più compatto e resistente l'insieme del pietrame;
- è consigliato non scendere sotto il livello medio della portata del corso d'acqua, perché i salici non sopporterebbero lunghi periodi di 6 ÷ 7 settimane di sommersione;
- trattasi di una sistemazione a verde estremamente conveniente dal punto di vista economico, sia per il materiale di propagazione impiegato, sia per la relativa semplicità d'esecuzione.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.17**.

Specie legnose per l'estrazione di talee e relativi campi di applicazione: le talee di piante legnose devono essere rigogliose, sane ed idonee a mettere radici.
Generalmente le talee adottate per i tipi di suolo specificati, sono quelle specificate nelle **tabelle 14.18a-14.18b**.

14.2.2 Messa a dimora di arbusti ed alberi

Funzioni:stabilizzazione e completamento su versanti e su sponde.

Descrizione: questa tecnica si usa per incrementare lo sviluppo della vegetazione in aree in erosione o prive di copertura arbustiva e

Fig. 14.11 - *Messa a dimora di talee arbustive nelle difese spondali*

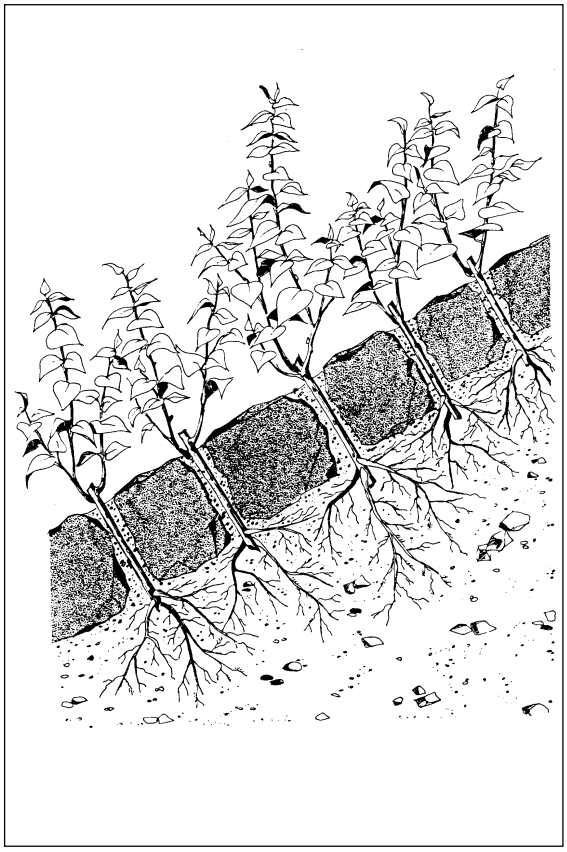
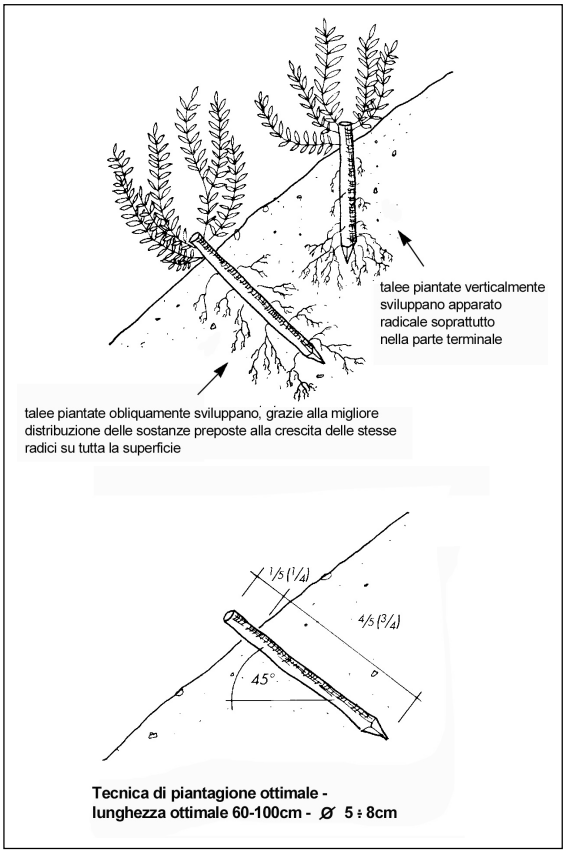


Fig. 14.12 - *Talee arbustive nelle difese spondali*


talee piantate verticalmente
sviluppano apparato
radicale soprattutto
nella parte terminale
talee piantate obliquamente sviluppano, grazie alla migliore
distribuzione delle sostanze preposte alla crescita delle stesse
radici su tutta la superficie
1/5 (1/4)
4/5 (3/4)
45°
Tecnica di piantagione ottimale -
lunghezza ottimale 60-100cm - Ø 5 ÷ 8cm

Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

arborea e negli interventi di consolidamento del dissesto superficiale (**figg. 14.11-14.12**).

Descrizione da voce di capitolato: piantagione di arbusti:
- a radice nuda;
- in zolla;
- in contenitore;
- in fitocella.

Fornitura e messa a dimora di arbusti autoctoni da vivaio, con certificazione di origine del seme, in ragione di 1 esemplare ogni 3 ÷ 20 m² aventi altezza minima compresa tra 0,30 e 1,20 m, previa formazione di buca con mezzi manuali o meccanici di dimensioni prossime al volume radicale per la radice nuda o dimensioni doppie nel caso di fitocelle, vasetti o pani di terra. Si intendono inclusi:
- l'allontanamento dei materiali di risulta dello scavo se non idonei;
- il riporto di fibre organiche quali paglia, torba, cellulosa, ecc. nella parte superiore del ricoprimento, non a contatto con le radici della pianta;
- il rincalzo con terreno vegetale con eventuale invito per la raccolta d'acqua o l'opposto a seconda delle condizioni pedo-climatiche della stazione;
- la pacciamatura in genere con dischi o biofeltri ad elevata compattezza o strato di corteccia di resinose per evitare il soffocamento e la concorrenza derivanti dalle specie erbacee;
- 1 o più pali tutori.

Le piante a radice nuda potranno essere trapiantate solo durante il periodo di riposo vegetativo, mentre per quelle in zolla, contenitore o fitocella il trapianto potrà essere effettuato anche in altri periodi tenendo conto delle stagionalità locali e con esclusione dei periodi di estrema aridità estiva o gelo invernale.

Effetto: il ripristino della vegetazione costituisce un consolidamento del substrato e un miglioramento ambientale dal punto di vista ecosistemico; la vegetazione ripariale, inoltre, può rappresentare, specialmente in aree planiziali, l'unico elemento boschivo più o meno continuo per facilitare la diffusione di specie animali, anche in considerazione della forma dendritica del reticolo idrografico che sul territorio svolge la funzione di rete ecologica.

Campi di applicazione: nelle opere dove si utilizzano talee, per incrementare la vegetazione; quando non è possibile utilizzare le talee; quando si vogliano consolidare zone e sponde con problemi di dissesto non troppo grave; nei dintorni di un'opera complessa per aumentare l'efficacia; nei corsi d'acqua dove è necessario ral-

lentare la velocità della corrente; nelle aree ad elevato valore vegetazionale per il ripristino di ecosistemi; nelle scarpate in scavo e in riporto e nella stabilizzazione superficiale di rilevati e accumuli di materiale sciolto.

Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata.

Gli alberi possono migliorare la resistenza del terreno fino ad una profondità di 3 m o più in funzione della morfologia dell'apparato radicale della specie, possono però provocare effetti negativi sull'opera a causa delle dimensioni, dei pesi e delle masse notevoli rispetto a quelle degli arbusti. Su sponde, arginature, briglie possono provocare delle infiltrazioni e rischi di sifonamento. Nel caso di vegetazione arbustiva l'azione di rinforzo si estende in genere a qualche decimetro fino ad una profondità di circa 1,5 m. Lo sviluppo di alberi su sponde, arginature, paramento a valle di briglie in terra possono provocare fenomeni di infiltrazione e riforamento. Impossibilità di applicare la tecnica in luoghi rocciosi o privi di suolo.

Materiali impiegati:
- materiali da vivaio:
  - *alberi*: in generale un esemplare di altezza fra 50÷ 150 cm ogni 5 ÷ 30 m² (secondo la specie e le condizioni stazionali del sito);
  - *arbusti*: in generale un esemplare di altezza compresa fra 30 ÷ 120 cm ogni 3 ÷ 20 m² (secondo la specie e le condizioni stazionali del sito);
- materiale reperito in loco con le dovute autorizzazioni:
  - trapianti di specie arboree e arbustive;
- ammendanti e fertilizzanti naturali.

Modalità di esecuzione: alberi e arbusti di specie autoctone possono essere utilizzati a radice nuda, in fitocella, in vaso o con pane di terra. Le piante a radice nuda sono più soggette a subire danni anche nel trasporto e non danno, in genere, buoni risultati perché le condizioni pedoclimatiche delle aree dove vengono eseguiti gli interventi di Ingegneria Naturalistica sono spesso critiche. Le piante in vaso, fitocella o con pane di terra, attecchiscono più facilmente e sono meno soggette ai danni da trasporto. Le piante a radice nuda si dispongono in buche grandi più o meno come il volume radicale e in buche di dimensioni circa il doppio negli altri casi (con pane di terra, ecc.). In seguito si riempie la buca col materiale preventivamente asportato, fino al colletto della pianta. Si compatta il terreno (la pianta deve opporre resistenza all'estrazione) formando una piccola concavità per una migliore captazione dell'acqua.

Accorgimenti: nel caso di terreni poveri si possono eseguire riporti di paglia, torba, cellulosa, mentre in zone soggette a siccità estiva prolungata si consiglia l'uso di ritentori idrici (di solito polimeri). Inoltre, per evitare il soffocamento dovuto a specie erbacee, si esegue una pacciamatura con biofeltri o strato di corteccia di resinose.

Vantaggi: applicabile in molte opere sia come supporto sia come completamento, inoltre è fondamentale per la rinaturalizzazione delle aree di sponda e su versante.

Svantaggi: interventi che richiedono molto materiale vegetale e molto lavoro per la realizzazione, sono quindi possibili in aree limitate. Difficoltà di reperimento delle specie scelte presso i vivai. Limiti dovuti alla stagionalità e alle esigenze fitoclimatiche delle specie.

Periodo di intervento: le piante a radice nuda devono essere trapiantate durante il riposo

Tab. 14.19 - *Piantagione di arbusti: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,01		
Operaio qualificato	Ora	0,06		
Operaio comune	Ora	0,10		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,01		
Trattore con cisterna	Ora	0,04		
c) Materiali:				
Pianta in vasetto o zolla	cad	1		
Pacciamatura	cad	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**6,2 ÷ 8,78**
			£/m²	**12.000 ÷ 17.000**

Tab. 14.20 - *Piantagione di alberi: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,01		
Operaio qualificato	Ora	0,06		
Operaio comune	Ora	0,15		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,01		
Trattore con cisterna	Ora	0,04		
c) Materiali:				
Pianta in vasetto o zolla	cad	1		
Palo tutore	cad	1		
Pacciamatura	cad	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**11,36 ÷ 14,46**
			£/m²	**22.000 ÷ 28.000**

vegetativo, le altre anche in altri periodi secondo la situazione climatica del luogo escludendo sempre i periodi estivi aridi e invernali freddi.

Manutenzione: potature, risarcimenti e annaffiature, se necessario. Controllo fitosanitario. Sulle sponde interventi ordinari di potatura per mantenere flessibili i rami e non creare ingombro nell'alveo.

Analisi prezzi per la piantagione di arbusti: si veda la **tabella 14.19**.

Analisi prezzi per la piantagione di alberi: si veda la **tabella 14.20**.

14.2.3 Trapianto di rizomi

Descrizione sintetica: tecnica utilizzata per la propagazione delle specie di difficile reperimento in commercio e di difficile propagazione per seme, come *Phragmites australis*. Dal selvatico vengono prelevati rizomi e cespi in pezzi di alcuni centimetri. Questi vengono posti a dimora sul terreno e poi ricoperti con uno strato leggero di terreno, onde evitarne il disseccamento (**figg. 14.13-14.14**).

Descrizione da voce di capitolato:
- divisi;
- sminuzzati.

Prelievo dal selvatico di rizomi, stoloni e cespi di graminacee ed altre specie idonee in pezzi di circa 10-15 cm e loro piantagione (per i rizomi fittonanti, ad esempio, *Phragmites*) per circa 4 cm o deposizione sul terreno sminuzzati od interi e ricopertura con un leggero strato di terreno vegetale per evitarne il disseccamento. Il trapianto va eseguito all'inizio o al termine del periodo di riposo vegetativo in ragione di 3-5 pezzi per m². Tale tecnica va utilizzata per la riproduzione di specie non esistenti in commercio e di difficile riproduzione per seme. La moltiplicazione può essere effettuata anche tramite vivaio e successivo trapianto, utilizzando contenitori a bivalve in cui vengono inseriti frammenti di cespi dalle graminacee selvatiche, che vengono ritrapiantati dopo un ciclo di sviluppo nelle aree da colonizzare.

Materiali impiegati:
- rizomi e pezzi di rizomi di lunghezza 10 ÷ 15 cm di specie vegetali adatte, prelevate dal selvatico (ad es. *Phalris arundinacea*, *Festuca arundinacea*, *Achillea millefolium*);
- pani di terra di canneto di dimensioni 30 x 30 cm circa (*Phragmites australis*);
- cespi di erbe graminoidi e non, che sviluppano più cauli e quindi possono essere suddivise in più pezzi, in grado di riprodursi vegetativamente (*Festuca ovina*).

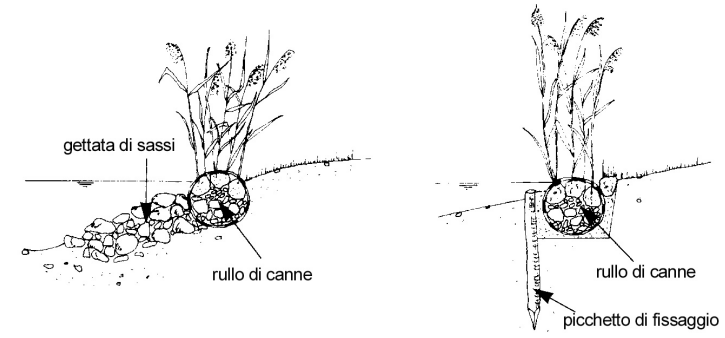
Modalità di esecuzione:
- si eseguono buche di circa 20 cm di diametro nelle quali si depongono i rizomi o loro parti;
- i rizomi o loro frammentazione sono deposti con una densità di impianto variabile, a seconda della specie impiegata (in genere 3 ÷ 5 pezzi per m²);
- ricoprimento con terreno al fine di evitare il disseccamento dei rizomi;
- può esserci la necessità d'irrigazione.

Campi di applicazione: stazioni estreme d'alta montagna dove il periodo vegetativo è più breve; sponde fluviali e barene; aree caratterizzate da scarsa vegetazione e le cui sementi non sono reperibili in commercio.

Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: ambienti igrofili e substrati non drenanti.

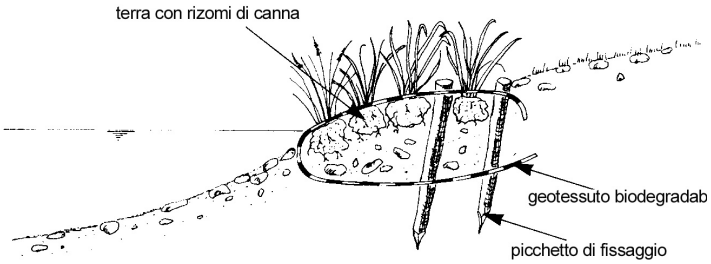
Prescrizioni: rizomi e cespi devono essere impiegati immediatamente dopo il prelievo. Possono

Fig. 14.13 - *Trapianto di rizomi*



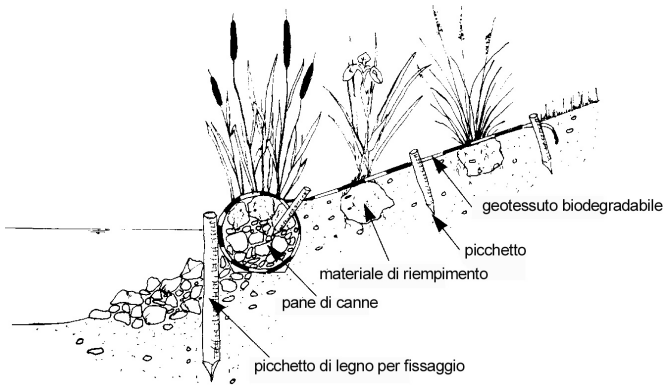
Rullo di canne con gettata di sassi al piede come armatura

Rullo di canne con picchetto di legno per fissaggio

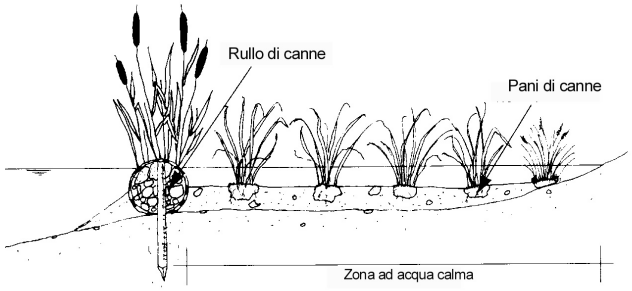


Rullo in tessuto con pani di terra con canne

Fig. 14.14 - *Trapianto di rizomi*



Rullo di canne con protezione di sponda con geotessuto biodegradabile



Rullo di canne impiegato come argine per la creazione verso sponda di una zona ad acque calme con seguente piantagione di pani di canna

Tab. 14.21 - *Trapianto di rizomi: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,05		
Operaio comune	Ora	0,10		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,005		
Escavatore	Ora	0,003		
c) Materiali:				
Rizomi e cespi	cad	5		
Terreno vegetale	m^3	0,05		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**2,07 ÷ 3,1**
			£/m^2	**4.000 ÷ 6.000**

essere immagazzinati per breve tempo in un luogo fresco (ad esempio, sotto uno strato di sabbia umida). Rispetto del periodo d'intervento.

Limiti di applicabilità: ambienti eccessivamente drenanti o viceversa con ristagni d'acqua per periodi eccessivamente lunghi.

Vantaggi:
- introduzione di specie rapidamente edificatrici e di difficile reperimento commerciale;
- possibilità di sfruttare materiale reperibile nei pressi del luogo d'intervento;
- viene evitata la fase critica della germinazione tipica nelle semine.

Svantaggi:
- la radicazione non è così profonda come avviene per le specie nate da seme;
- elevato consumo di materiale, lavoro lungo e impegnativo;
- necessità di vaste aree su cui effettuare i prelievi.

Effetto: rapida copertura del terreno e più efficace rispetto a quella ottenibile con la semplice semina.

Periodo di intervento: trapianto all'inizio o al termine del periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori: scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

Note:
- il periodo più idoneo per questo tipo di piantagione è quello del riposo vegetativo;
- nel caso si intenda impiantare un canneto, le zolle contenenti i rizomi vanno poste ad una distanza di 0,5 ÷ 1 m; è opportuno mettere a dimora il canneto in terreni umidi, ma non costantemente allagati (profondità < 50 cm).

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.21**.

14.2.4 Copertura diffusa

Descrizione sintetica: l'opera consiste nella realizzazione di un rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata, mediante la messa a dimora di astoni, (ramaglia viva di salici, tamerici, ecc.) con capacità di propagazione vegetativa. La ramaglia ha disposizione perpendicolare alla direzione del flusso d'acqua ed è fissata al substrato mediante filo di ferro teso tra picchetti e paletti vivi o morti. La base della ramaglia viene conficcata nel terreno e qualora siano presenti più file, queste devono sormontarsi parzialmente. La ramaglia viene coperta con un sottile strato di terreno vegetale. Con tale intervento si protegge la superficie del terreno dall'azione delle forze meccaniche (piogge, erosione fluviale, ecc.). Viene inoltre migliorato il bilancio idrico e termico e viene favorito lo sviluppo della vita vegetale nel terreno e nello strato aereo vicino al terreno (**figg. 14.15-14.22**).

Descrizione da capitolato:
- *copertura diffusa con ramaglia viva*:
  - normale;
  - armata.

  Rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata mediante copertura con ramaglia viva con capacità di propagazione vegetativa (Salici, Tamerici, Myricaria, Ligustrum) con densità di 20 ÷ 50 verghe o rami per metro, di lunghezza minima di 150 cm, disposte perpendicolarmente alla corrente, previa posa di paletti di castagno o di larice infissi per almeno 60 cm e sporgenti per 20 cm a file distanti 1 m e con interasse da 1 a 3 m a seconda della pressione idraulica. La parte inferiore dei rami dovrà essere conficcata nel terreno o nel fondo e lo strato inferiore dovrà coprire lo strato superiore con sormonto di almeno 30 cm. La ramaglia verrà fissata ai paletti tramite filo di ferro, talee trasversali, fascine o graticciate e ricoperta con uno sottile strato di terreno vegetale. La base della spon-

Tab. 14.22 - *Trapianto di rizomi: materiali impiegati*

Semplice:	
Paleria di larice o di castagno	l = 80 cm Ø=8 ÷12 cm
Astoni di salice e/o altre specie con capacità di propagazione vegetativa	l= 300÷400 cm Ø =5 ÷ 15 cm
Pietrame	Pezzatura >0,20 m
Ghiaia	Pezzatura = 30 ÷ 160 mm
Filo di ferro zincato	∅ = 3 mm
Terreno vegetale	7 ÷ 8 cm/m^2
Armata (in aggiunta):	
Paleria di larice o di castagno	l = 150 ÷200 cm ∅ = 20 cm
Fune di acciaio	∅ = 16 mm
Tondini di ferro	l > 60 cm ∅ =16÷22 mm
Morsetto serrafune	∅ = 16 ÷ 22 mm
Malta cementizia antiritiro	

da così ricoperta verrà consolidata con blocchi di pietrame eventualmente collocati in un fosso preventivamente realizzato. Tali blocchi (di dimensioni minime di 0,2 m^3) potranno venir collegati con una fune di acciaio (variante "armata") fissata a pali di legno o di ferro, onde consentire una maggior protezione al piede, pur conservando una certa elasticità. Il periodo migliore di esecuzione è il tardo autunno.

- *copertura diffusa con culmi di canna*: rivestimento di sponda, precedentemente modellata, in condizioni di bassa pendenza e velocità dell'acqua, con culmi di canna (essenzialmente viene impiegata *Phragmites australis*) in numero di 30 ÷ 60 culmi per metro, di lunghezza da 80 a 170 cm, disposti perpendicolarmente alla corrente, con la parte inferiore a contatto con l'acqua (10 ÷ 15 cm sotto il livello medio). Il fissaggio avverrà mediante paletti e filo di ferro in analogia al punto precedente. Il periodo migliore per il rivestimento va da marzo a maggio quando i giovani culmi hanno raggiunto la grandezza indicata.

Campi di applicazione: è una protezione particolarmente efficace della superficie delle scarpate spondali minacciate dall'acqua corrente e dal moto ondoso. Si può intervenire sia nel caso di nuove costruzioni sia per risanamento di rotture spondali. Allo scopo di fornire maggiore protezione del piede della scarpata si può eventualmente realizzare una copertura diffusa con astoni del tipo "armata".

Fattibilità: intervento di tipo intensivo che richiede un notevole impiego di materiale vegetale. L'azione in profondità esercitata dall'apparato radicale fa sì che sin dalla prima stagione vegetativa si abbia un considerevole consolidamento del terreno. La grande proliferazione del materiale vegetale crea una densa fascia elastica durevole nel tempo. La protezione data dalla parte aerea può favorire il rapido insediarsi di vegetazione ripariale integrativa in accordo con le caratteristiche della stazione. La radicazione degli astoni nel terreno tende a svilupparsi in profondità in caso di aridità del materiale.

Materiali impiegati: si veda la **tabella 14.22**.

Modalità di esecuzione:

- *copertura diffusa con astoni* di salice su sponda. Si deve procedere come di seguito descritto:
  - modellamento della sponda del fiume con l'ausilio di un escavatore fino ad ottenere una pendenza non superiore a 30 ÷ 35°;
  - eventuale realizzazione di un fosso al piede della sponda (larghezza = 40 cm, profondità = 30 cm);
  - messa in opera di 3 o più file di paletti di castagno o di larice, infissi nel terreno non riportato per 60 cm sporgenti per 30 cm; le file parallele di paletti vanno poste nel senso della corrente del fiume con un interasse di 1 m. La distanza fra i paletti può variare da 1 a 3 m max, a seconda della pressione idraulica;
  - posa di uno strato continuo di astoni di salice o di ramaglia e verghe, in senso trasversale alla direzione della corrente e con il diametro maggiore conficcato nel terreno o nel fosso a contatto con l'acqua. In caso di messa a dimora di due ordini di astoni, la parte superiore dell'ordine più basso dovrà sormontare di almeno 30 cm l'ordine più alto;
  - ancoraggio degli astoni ai paletti, correnti in legno, talee trasversali, fascine vive, mediante fissaggio con filo di ferro zincato e copertura degli astoni con terreno vegetale (spessore di 7 ÷ 8 cm); alla fine il 50% della superficie degli astoni deve emergere dal terreno per permettere la crescita della nuova gemma;
  - copertura della base del fosso con uno strato di ciottoli di piccola dimensione o ghia-

ia in modo da favorire l'afflusso di acqua agli astoni;
- per una protezione al piede della scarpata viene realizzata una difesa in pietrame (pezzatura > 0,2 m³) in uno o due ordini sopra i ciottoli. Per garantire una maggiore stabilità della difesa, è possibile procedere alla messa in opera di pali di larice o di castagno (scortecciati) infissi alla base del pietrame. Il pietrame può essere eventualmente sostituito con tronchi longitudinali scortecciati e trattenuti da piloti in ferro infissi in alveo;

• *copertura armata*: l'armatura consiste nel disporre il pietrame con una fune d'acciaio che collega i singoli elementi. Si procede come nel caso precedente e poi si provvede a:
- forare i massi per consentire l'inserimento di una barra di acciaio ad aderenza migliorata (o con tassello ad espansione) munita di un'asola e fissare con malta cementizia antiritiro;
- fissare la fune ai pali di legno, o in alternativa alle travi di acciaio infisse nell'alveo per 150 ÷ 200 cm e ad una distanza variabile da 2 a 5 m a seconda delle esigenze al fine di rendere più stabile la difesa spondale pur mantenendo una certa elasticità.

Interventi collegati: diverse opere di difesa spondale. La copertura diffusa con astoni può essere anche elemento integrativo di una scogliera in pietrame.

Prescrizioni: sono auspicabili operazioni di manutenzione mediante diradamento dal basso selettivo dei salici, nel tempo e nello spazio anche per favorire altre specie (ontano, frassino, ecc.).

Limiti di applicabilità: corsi d'acqua con elevata capacità e trasporto solido notevole.

Vantaggi:
• immediata protezione dall'erosione meccanica e successivo consolidamento in profondità mediante un fitto reticolo di radici con vegetazione cespugliosa rigogliosa elastica e duratura;
• materiale autoctono facilmente reperibile.

Svantaggi:
• il materiale da impiegare è molto e richiede tempi medi per la posa in opera;
• nel tempo è necessaria la manutenzione con tagli di potatura e diradamento per evitare una crescita irregolare e/o eccessiva delle piante;
• tendenza alla formazione di monocolture di salice.

Effetto: gli strati di ramaglia coprono la superficie della sponda proteggendola, fin da subito, dall'erosione esercitata dal movimento dell'acqua.

Periodo di intervento: questo tipo di intervento è da effettuarsi solo durante il periodo del riposo vegetativo. Il periodo migliore è il tardo autunno.

Manutenzione e durata dell'opera: la manutenzione dei rivestimenti con astoni si limita alla potatura o al diradamento selettiva per mantenere l'elasticità ed è finalizzata anche all'ottenimento di nuovo materiale di propagazione (astoni) da utilizzare per la realizzazione di altre opere.

Modalità:
• fra novembre e marzo si effettua un taglio degli astoni al di sopra del livello del suolo;
• si può fare un taglio dell'intero soprassuolo ogni 2 ÷ 4 anni oppure a strisce annuali (larghe 3÷5 metri) per ottenere una stratificazione;
• dove la crescita dei salici non impedisca il de-

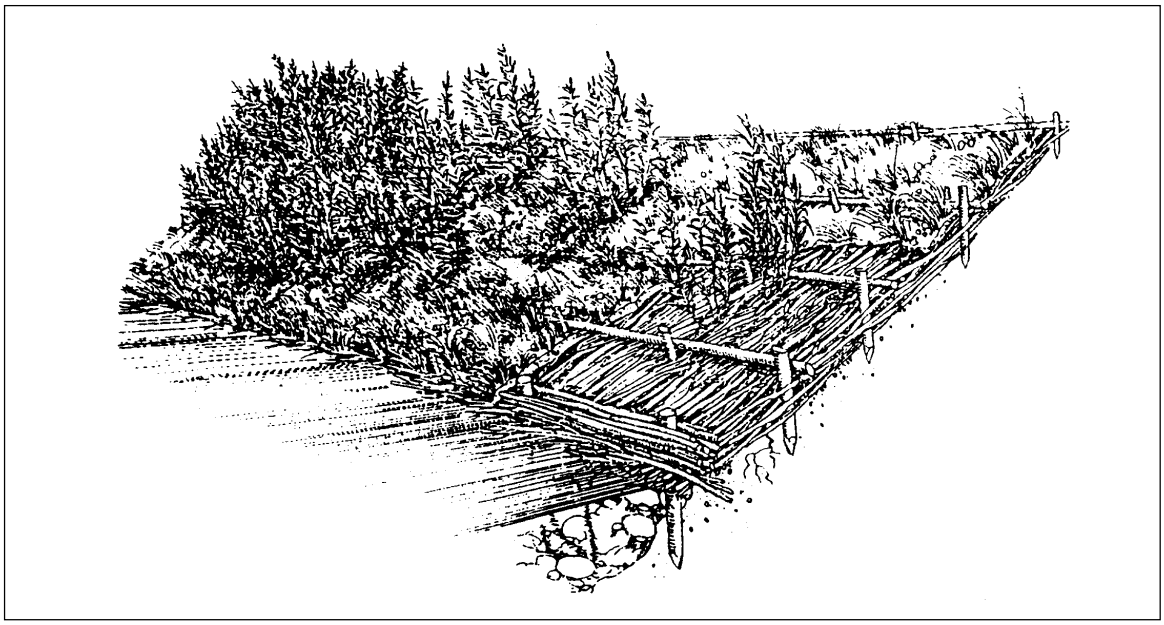
Tab. 14.23 - *Copertura diffusa aramaglia viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,45		
Operaio comune	Ora	1,45		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,04		
Escavatore	Ora	0,05		
c) Materiali:				
Ramaglia	cad	20		
Terreno	m³	0,10		
Paletto	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,18		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**67,14 ÷ 77,47**
			£/m²	**130.000 ÷ 150.000**

Tab. 14.24 - *Copertura diffusa con culmi di canna: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1		
Operaio comune	Ora	1		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,02		
c) Materiali:				
Culmi di canna	cad	60		
Paletto	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,18		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**33,05 ÷ 37,18**
			£/m²	**64.000 ÷ 72.000**

Fig. 14.15 - *Copertura diffusa*



flusso si può trattare a ceduo con tagli ogni 7 ÷ 10 anni.

Possibili errori:
- la ramaglia non viene ben assicurata al terreno con filo di ferro o paletti trasversali;
- la ramaglia viene ricoperta con poco terreno o affatto, restando eccessivamente esposta all'aria risultando in tal modo soggetta a disseccamento per vento e insolazione;
- la ramaglia viene coperta da uno strato eccessivo di terreno impedendone lo sviluppo iniziale;
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

Analisi prezzi:
- per copertura diffusa a ramaglia viva: si veda la **tabella 14.23**;
- per copertura diffusa con culmi di canna: si veda la **tabella 14.24**.

14.2.5 Viminata viva

Descrizione sintetica: consiste nel fissare al terreno, tramite picchetti di legno o tondini di ferro, un intreccio di verghe di specie con capacità vegetativa. Possono essere disposte a file orizzontali o in diagonale (**figg. 14.23a-14.23b**).

Voce di capitolato:
- viminata viva;
- viminata viva con disposizione romboidale;
- viminata viva seminterrata.

Stabilizzazione di pendio o scarpata mediante viminata formata da paletti di legno (larice, castagno, ecc.) di ∅ 3 ÷ 10 cm o di ferro ∅ 12 ÷ 14

Fig. 14.16 - *Copertura diffusa*

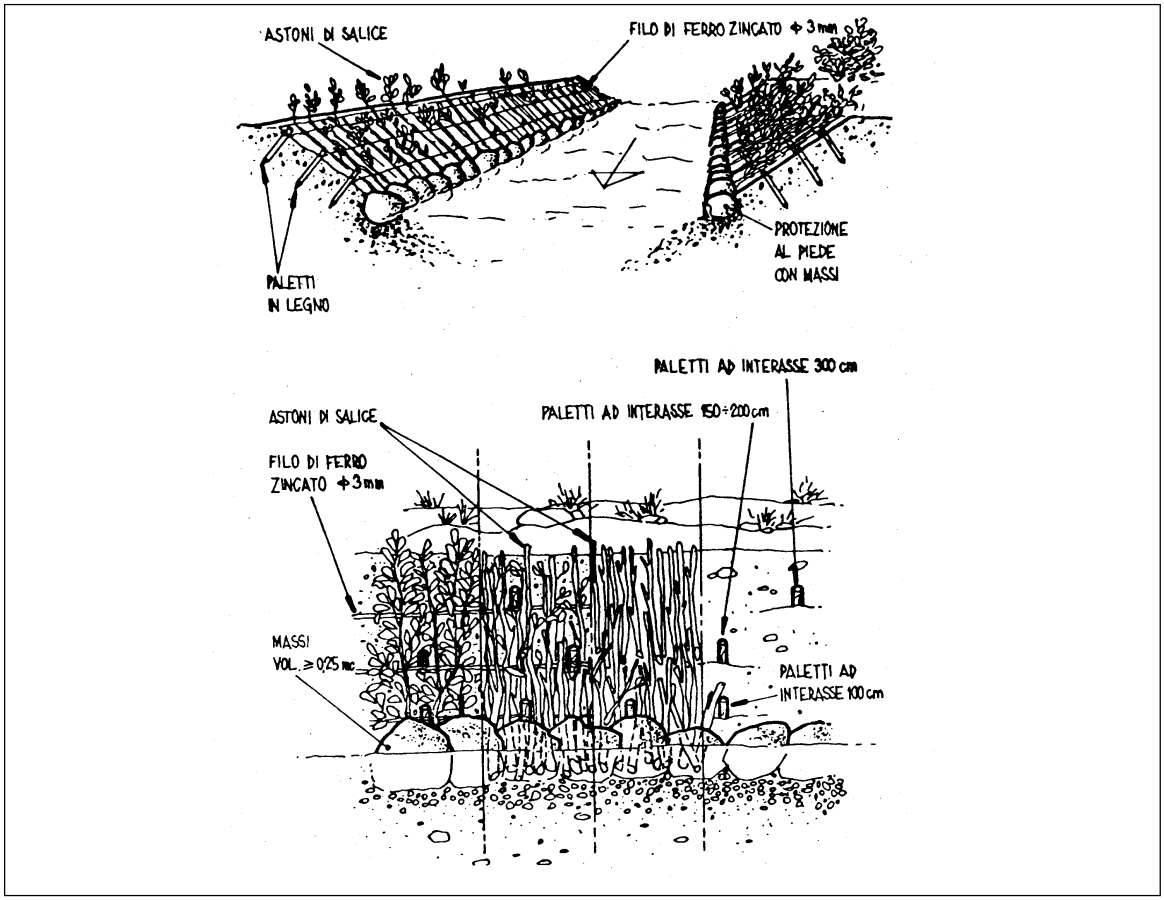

ASTONI DI SALICE
FILO DI FERRO ZINCATO ϕ 3 mm
PROTEZIONE AL PIEDE CON MASSI
PALETTI IN LEGNO
PALETTI AD INTERASSE 300 cm
ASTONI DI SALICE
PALETTI AD INTERASSE 150÷200 cm
FILO DI FERRO ZINCATO ϕ 3 mm
MASSI VOL. ≥ 0,25 mc
PALETTI AD INTERASSE 100 cm

Fig. 14.17 - *Copertura diffusa armata al piede con pali*

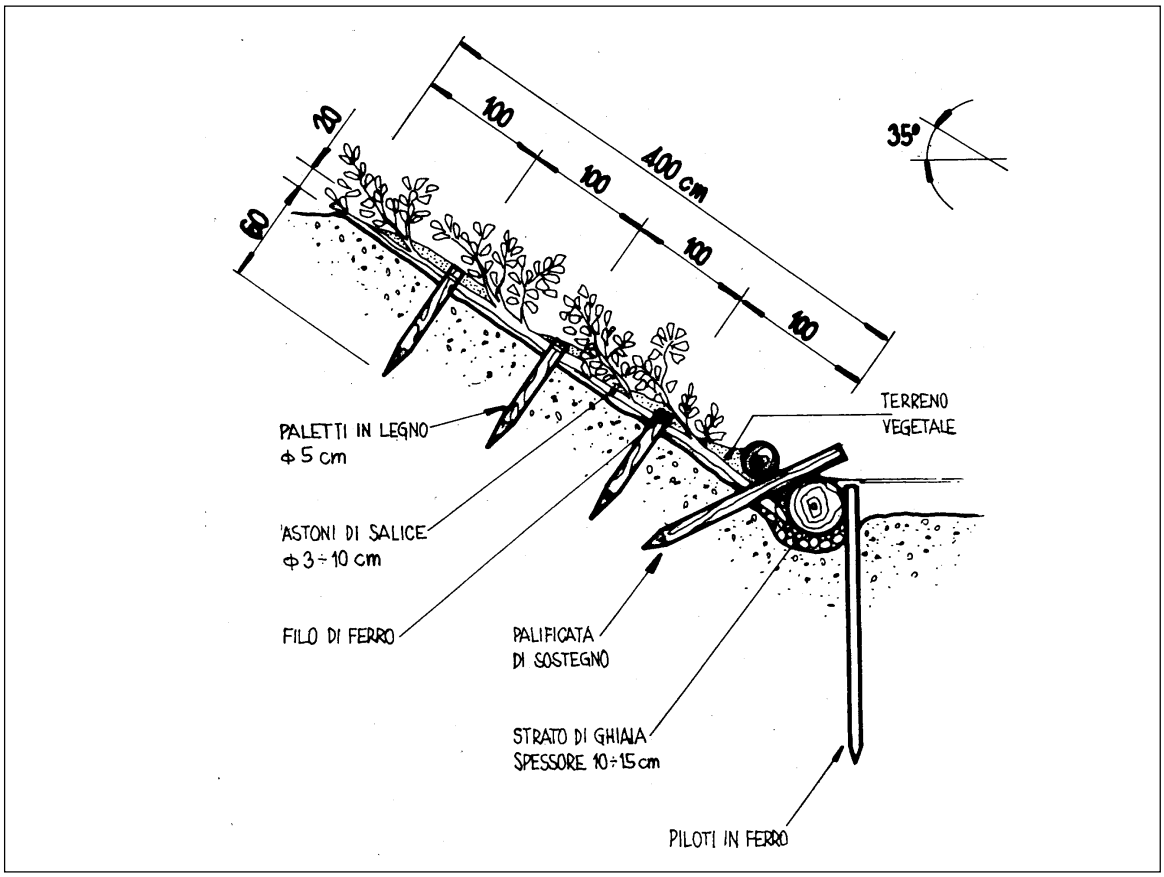


Fig. 14.18 - *Copertura diffusa armata al piede con masso*

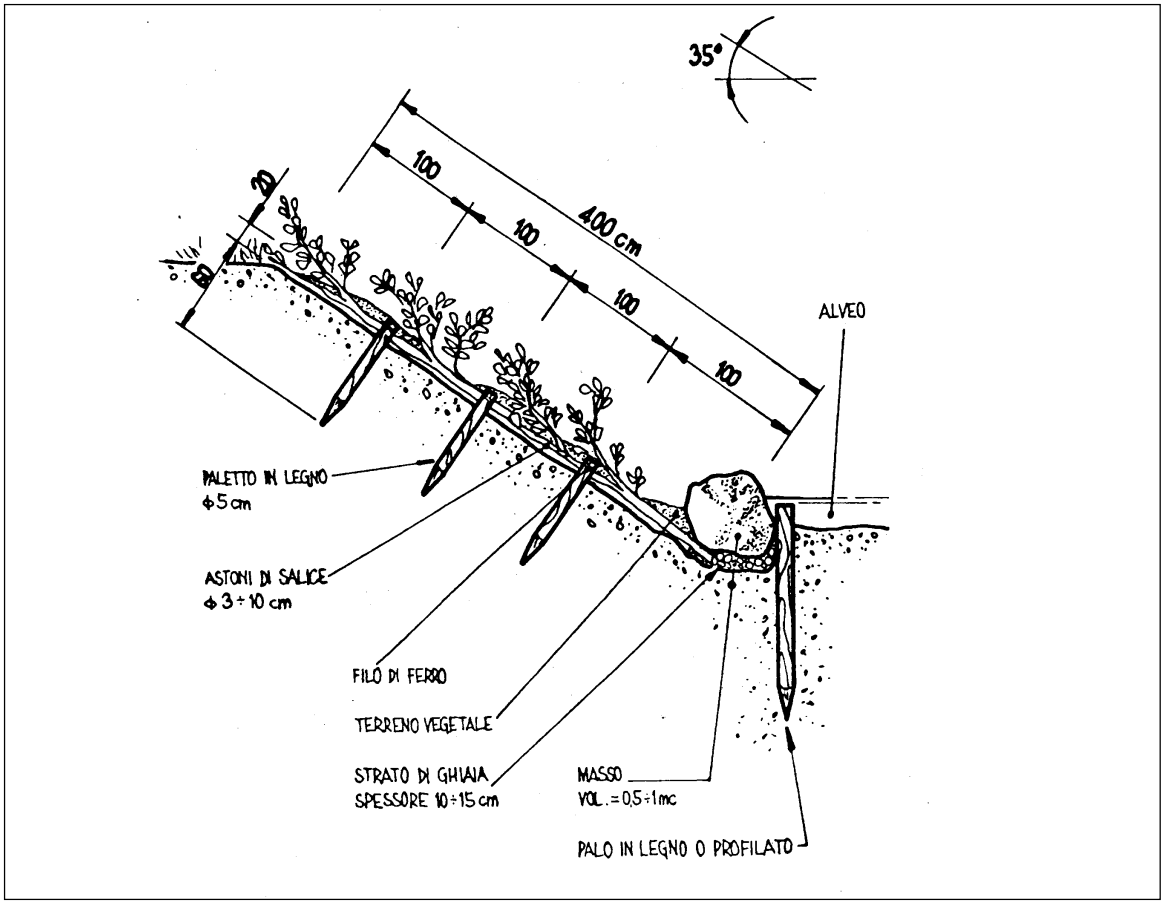


Fig. 14.19 - *Copertura diffusa armata al piede con massi*

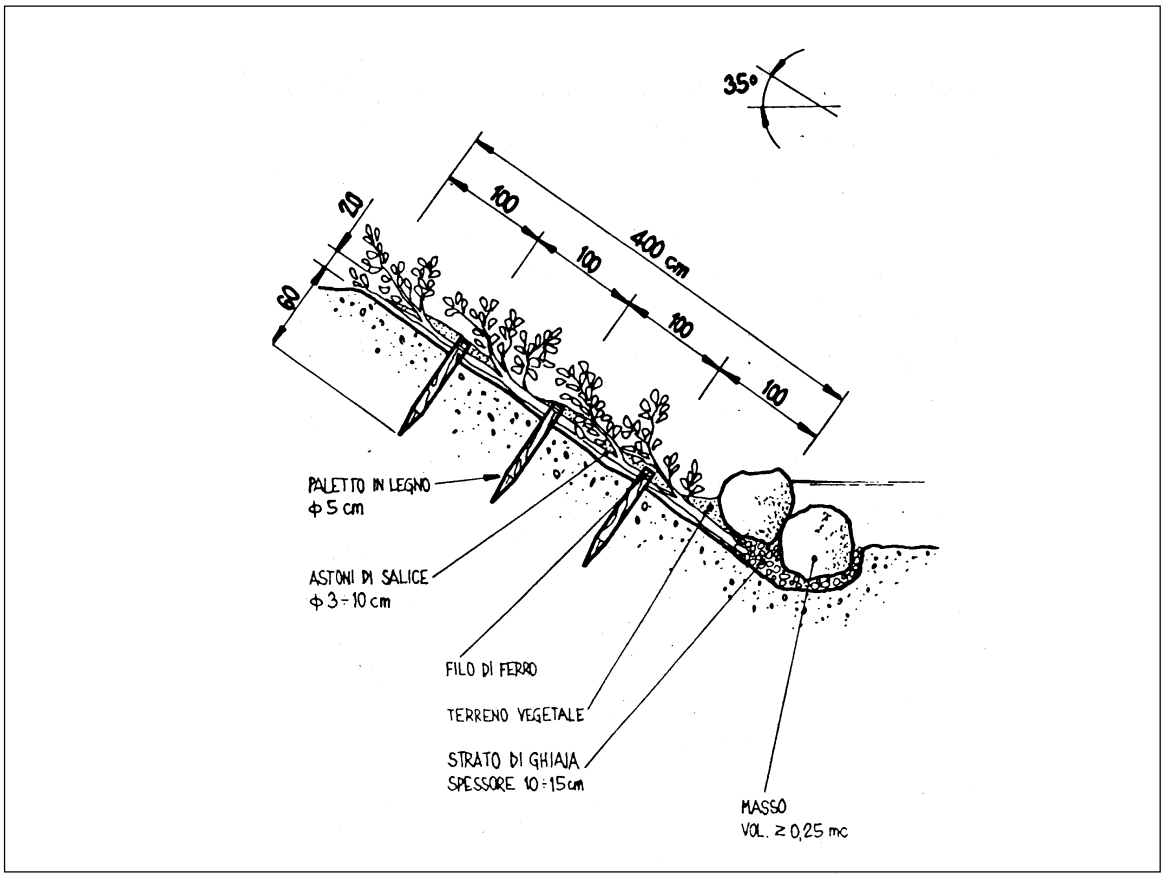


Fig. 14.20 - *Copertura diffusa armata con massi e fune*

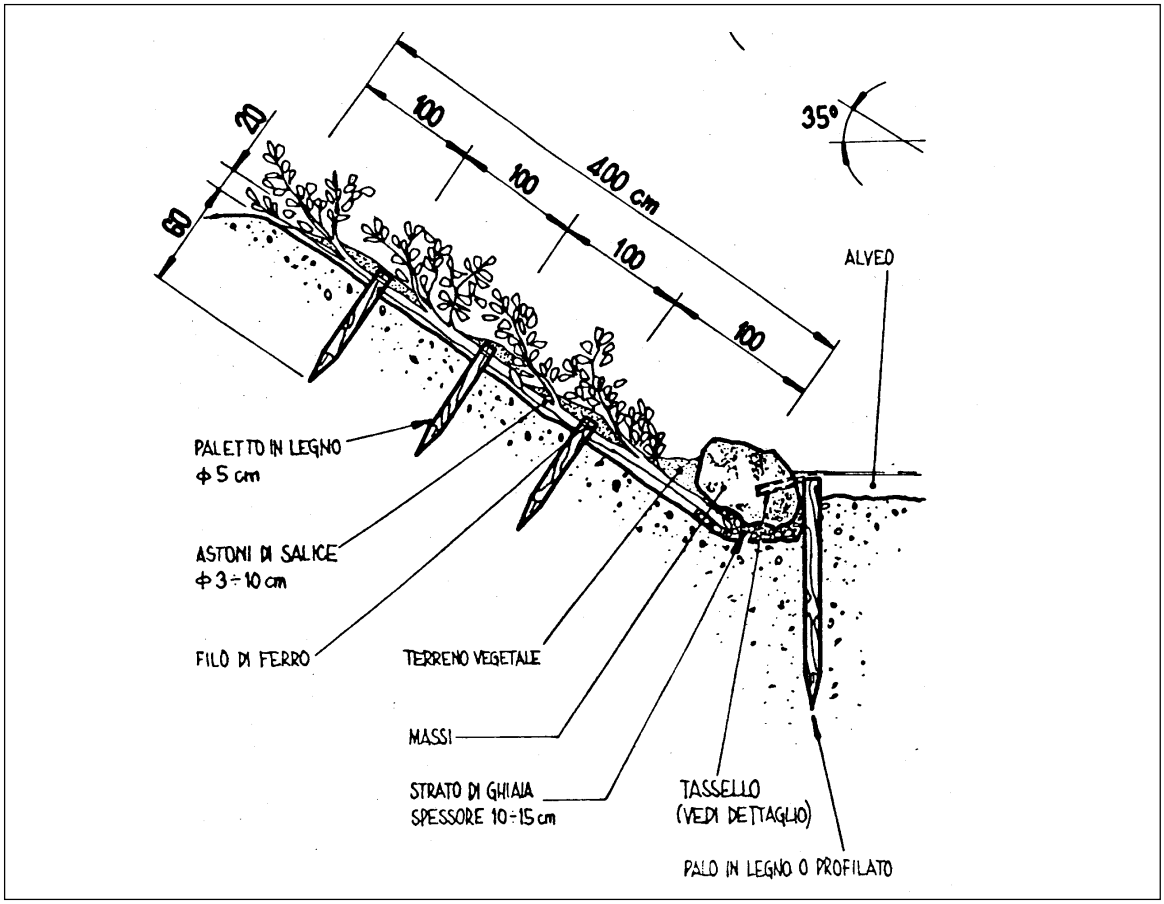


Fig. 14.21 - *Copertura diffusa armata con massi e fune*

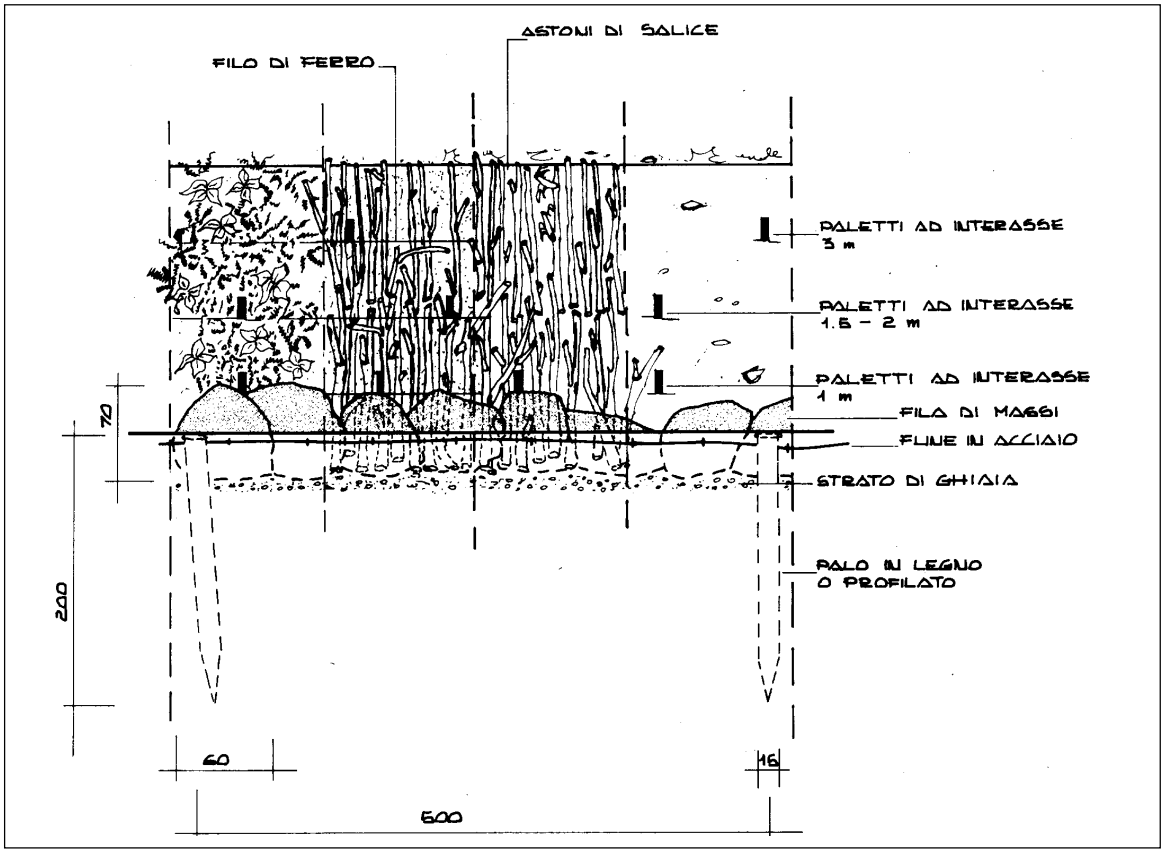
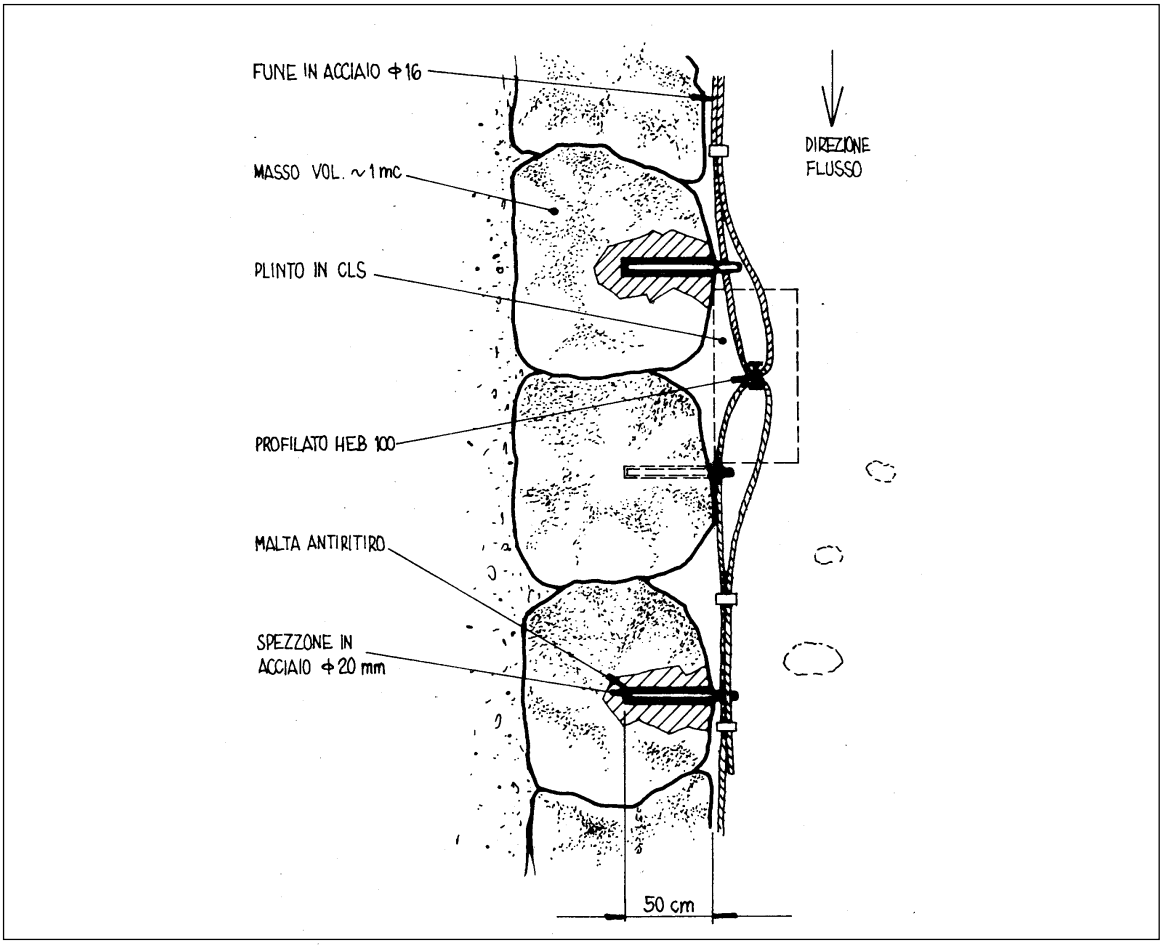


Fig. 14.22 - *Copertura diffusa armata con massi e fune: particolare*



mm, di lunghezza 80 ÷ 100 cm infissi nel terreno lasciando una altezza fuori terra di 15 ÷ 30 cm, alla distanza di 1 ÷ 3 m uno dall'altro, intervallati ogni 30 cm da paletti o talee vive di 40 ÷ 50 cm, collegati da verghe di salice vivo o altra specie legnosa con capacità di propagazione vegetativa, con l'estremità conficcata nel terreno, di almeno 150 cm di lunghezza, intrecciate sui paletti principali e secondari e legate con filo di ferro per un'altezza di 15 ÷ 25 cm fuori terra ed una parte interrata di almeno 10 cm (l'infossamento ed il contatto con il terreno consentono il migliore attechimento e radicazione delle piante). Le viminate verranno disposte sui pendii a file parallele distanti da 1,2 m a 2 m. Delle varianti sono costituite da file diagonali a formare rombi o quadrati che aumentano la capacità antierosiva e dalla disposizione seminterrata in solchetti di 20 cm circa, onde aumentare la percentuale di attechimento in substrati aridi e aumentare l'effetto antiruscellamento. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

Campi di applicazione: pendii e sponde di corsi d'acqua. Consolidamento al piede lungo corsi d'acqua minori, protezione al piede della sponda in combinazione con copertura diffusa. Per interventi su opere in terra in combinazione con copertura diffusa o fascine drenanti.

Modalità di esecuzione: si realizza una fila di picchetti in legno ad una distanza di 1 ÷ 3 m, intervallata ogni 30 cm circa da paletti di legno o talee vive di dimensioni più piccole (40 ÷ 50 cm). I picchetti più lunghi (80 ÷100 cm)vengono infissi nel terreno (altezza fuori terra 15 – 30 cm) con direzione intermedia fra la verticale e la normale al pendio), poi vengono intrecciati con rami di salice, almeno 7-8, lunghi e flessibili che dovranno essere compressi l'uno sull'altro, fino a formare una parete. Nel caso che non sia possibile reperire materiale sufficiente si inserisce materiale morto opportunamente mescolato a quello vivo. È necessario che la viminata viva abbia una parte succicientemente interrata per evitare fenomeni di scalzamento al piede e permettere alle verghe di vegetare a contatto con il terreno. Le viminate vive si eseguono in linea (distanza fra le file 1,2 ÷ 2 m) o a formare rombi ed altre figure geometriche e, nel secondo caso, svolgono meglio la funzione di trattenere il terreno.

Materiali impiegati:
- picchetti di legno vivo o morto: lunghezza 50 ÷ 100 cm; ∅ 3 ÷10 cm;

• verghe elastiche di piante con alta capacità di propagazione vegetativa: lunghezza ≥ 1,5 m.

Vantaggi: effetto immediato di trattenuta del terreno su sponde fluviali e pendii in erosione di modeste dimensioni.

Svantaggi: tecnica che richiede verghe lunghe, di materiale vivo e molta manodopera.
Costi elevati rispetto ad altri interventi di stabilizzazione. Scarso attecchimento delle talee. Tecnica non utilizzabile su terreni argillosi, rocciosi o sassosi. Restringimento della sezione nei corsi d'acqua minori, con conseguente necessità di un'attenta manutenzione.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Manutenzione: controllo della radicazione delle talee. Interventi di riparazione di tratti spezzati; paletti scalzati al piede.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.25**.

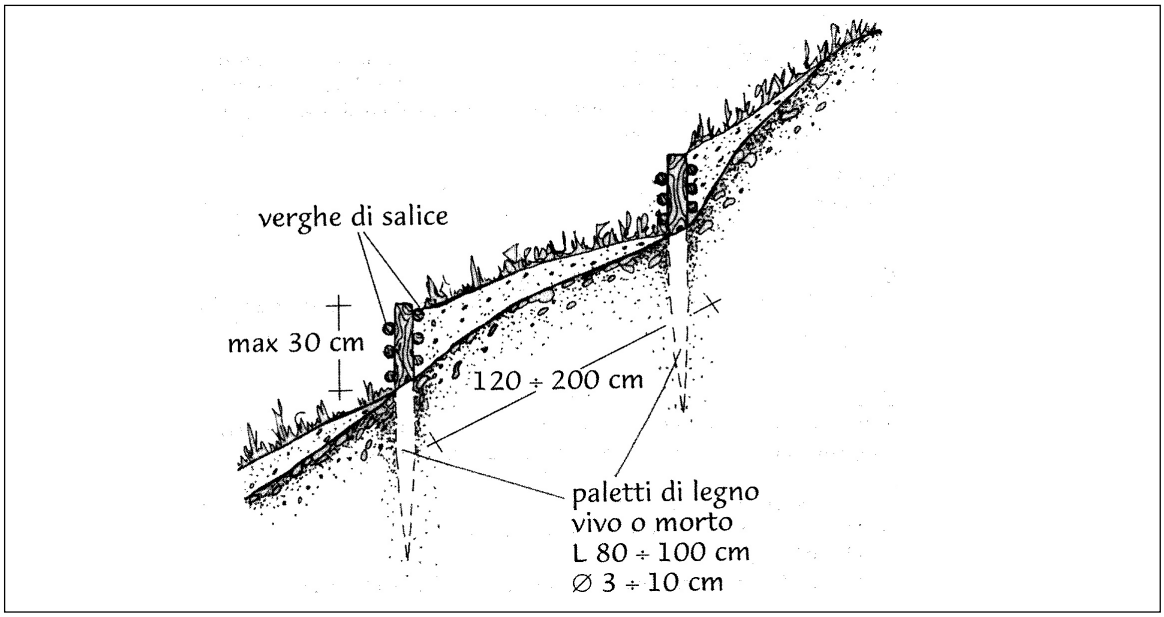
14.2.6 Viminata viva spondale

Descrizione sintetica: si tratta di una sistemazione stabilizzante lineare su sponda, composta da un intreccio di verghe, fissato al terreno tramite picchetti di legno o tondini di ferro e, successivamente, interrato.
La disposizione delle viminate può essere a file orizzontali o incrociate a formare una costruzione di rombi o di quadrati. Per essere efficace deve essere realizzata con materiale vivo con

Tab. 14.25 - *Viminata viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,002		
c) Materiali:				
Verghe	cad	8		
Talee	cad	2		
Pali di legno	cad	1		
Filo di ferro	Kg	0,18		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**18,08 ÷ 30,99**
			£/m²	**35.000 ÷ 60.000**

Fig. 14.23a - *Viminata viva: sezione*



Fonte: AIPIN - Sezione Toscana.

Fig. 14.23b - *Viminata viva: prospetto*

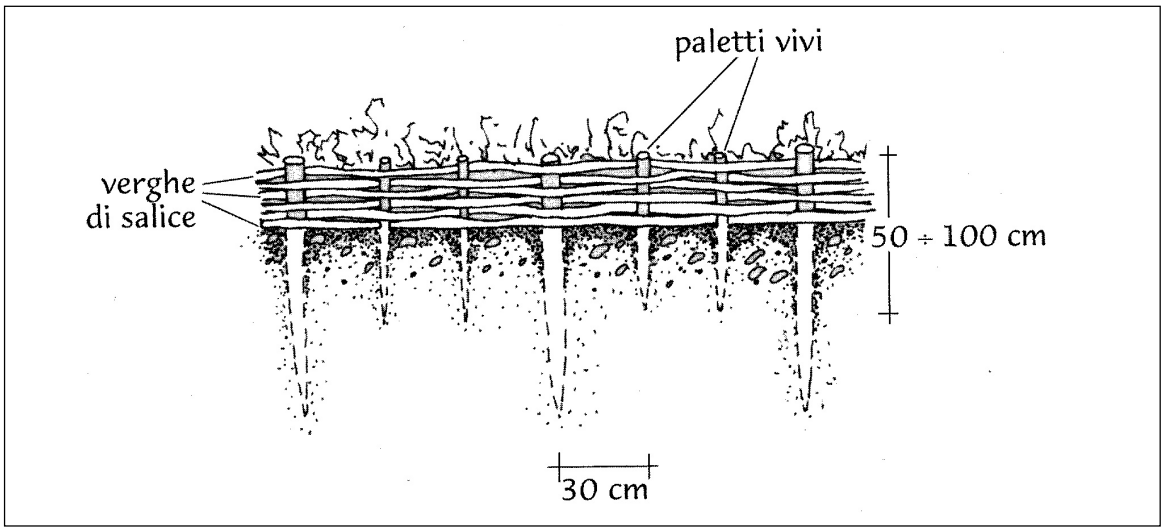
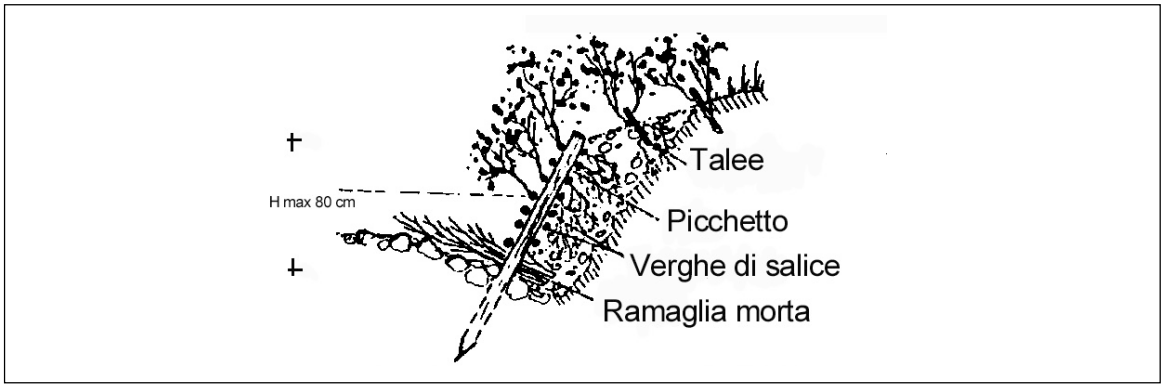


Fig. 14.24 - *Viminata viva spondale: sezione*



capacità di emissione di radici avventizie (**figg. 14.24-14.27**).

Descrizione da voce di capitolato: stabilizzazione di sponda mediante viminata formata da paletti di legno (larice, castagno) di ∅ 8 ÷ 15 cm, di lunghezza 100 ÷ 150 cm infissi a reggere la sponda per una altezza fuori terra di 50 ÷ 80 cm, alla distanza di 1 ÷ 3 m uno dall'altro, collegati da verghe di salice vivo o altra specie legnosa con capacità di propagazione vegetativa, di almeno 150 cm di lunghezza, intrecciate sui paletti e legate con filo di ferro. Il contatto con il terreno spondale consente il migliore attecchimento e radicazione delle piante. Le viminate spondali verranno utilizzate su sponde di piccoli corsi d'acqua per creare dei piccoli terrazzamenti o sostegni spondali in genere ad una sola fila parallela alla direzione del flusso e con la parte interrata e più grossa delle verghe a monte e l'intreccio a valle. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

Campi di applicazione: sulle sponde, con funzione di sostegno degli strati superficiali del terreno nel caso di decorticamenti o erosioni; adatto anche per controllo dell'erosione delle scarpate spondali. Le viminate hanno un ottimo effetto sulla regimazione delle acque superficiali. La radicazione delle talee ha un effetto stabilizzante, attraverso l'armatura del terreno. L'opera è tuttavia meno efficace di altre sistemazioni stabilizzanti. Le viminate romboidali o quadrate sono più efficaci per trattenere il terreno vegetale di copertura.

Fattibilità: possibilità di pronta ritenuta del materiale sul pendio e di formare con l'intreccio delle gradonature stabilizzanti nel pendio. In generale si ha un elevato consumo di materiale (quindi costi elevati) con effetto di radicazione relativamente modesto, in quanto superficiale.

Materiali impiegati:
- rami elastici, poco o non ramificati, di specie legnose dotate di buona capacità vegetativa, facilmente intrecciabili (salici o tamerici), della lunghezza minima di 150 cm. In alternativa, intrecci preconfezionati;
- picchetti in legno I = 100 cm, ∅ = 8 ÷ 12 cm o aste in ferro ∅ = 12 ÷ 14 mm;
- paletti vivi in legno L < 100 cm;
- filo di ferro e/o chiodi carpenteria.

Fig. 14.25 - *Viminata viva spondale: prospetto*

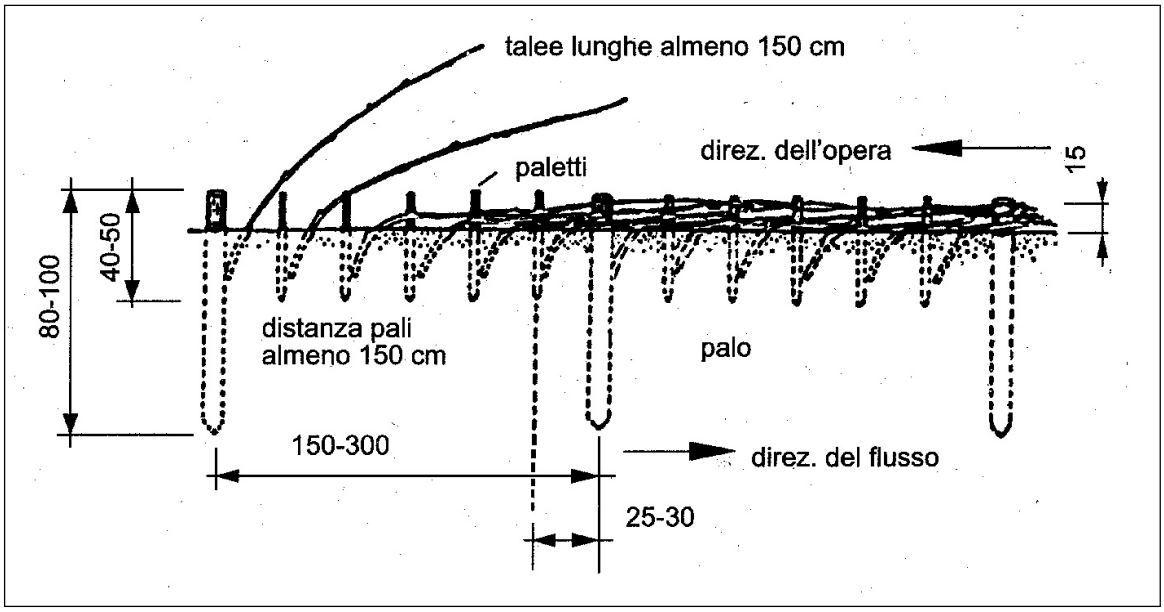


Fig. 14.26 - *Viminata viva spondale*

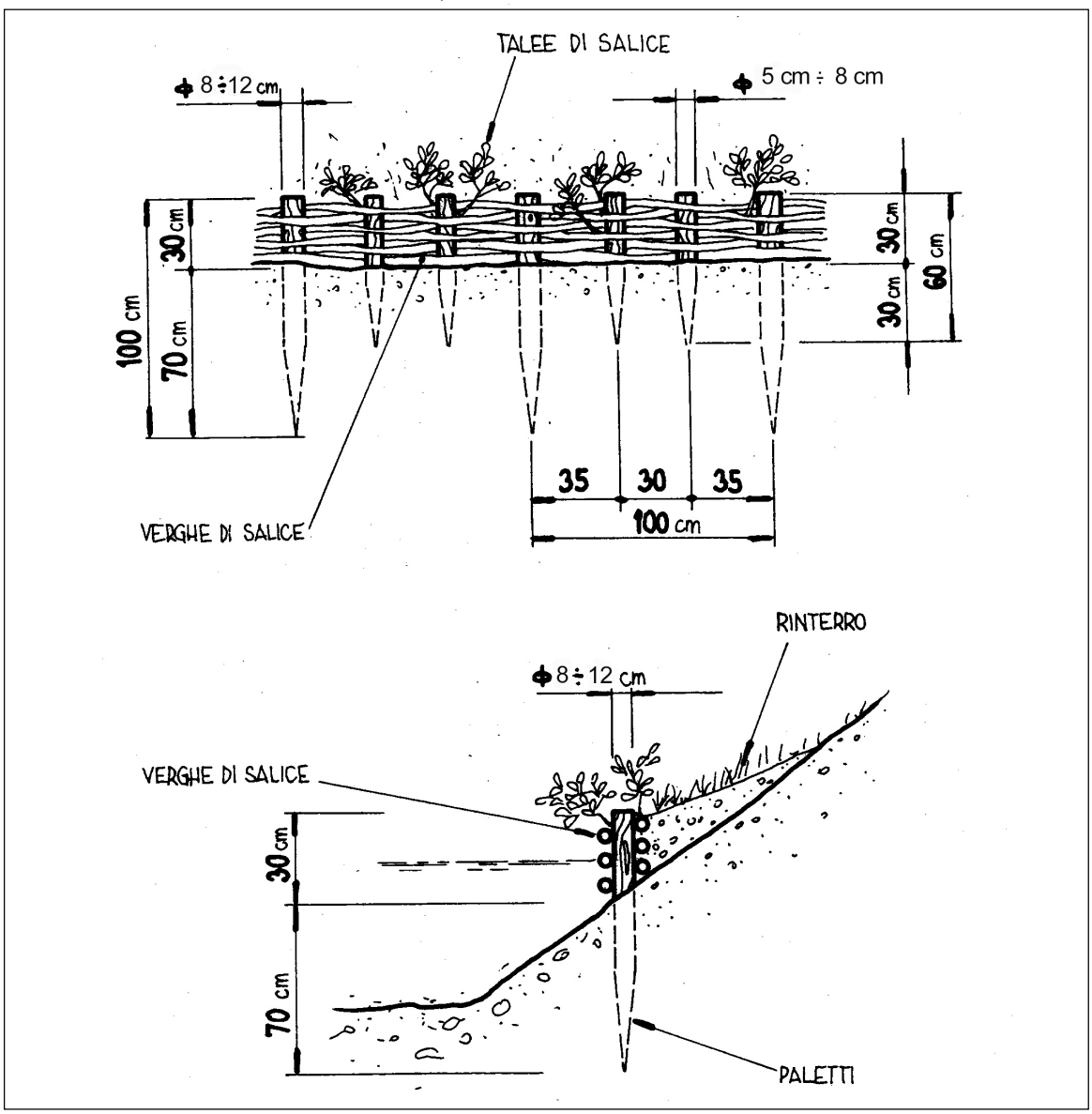
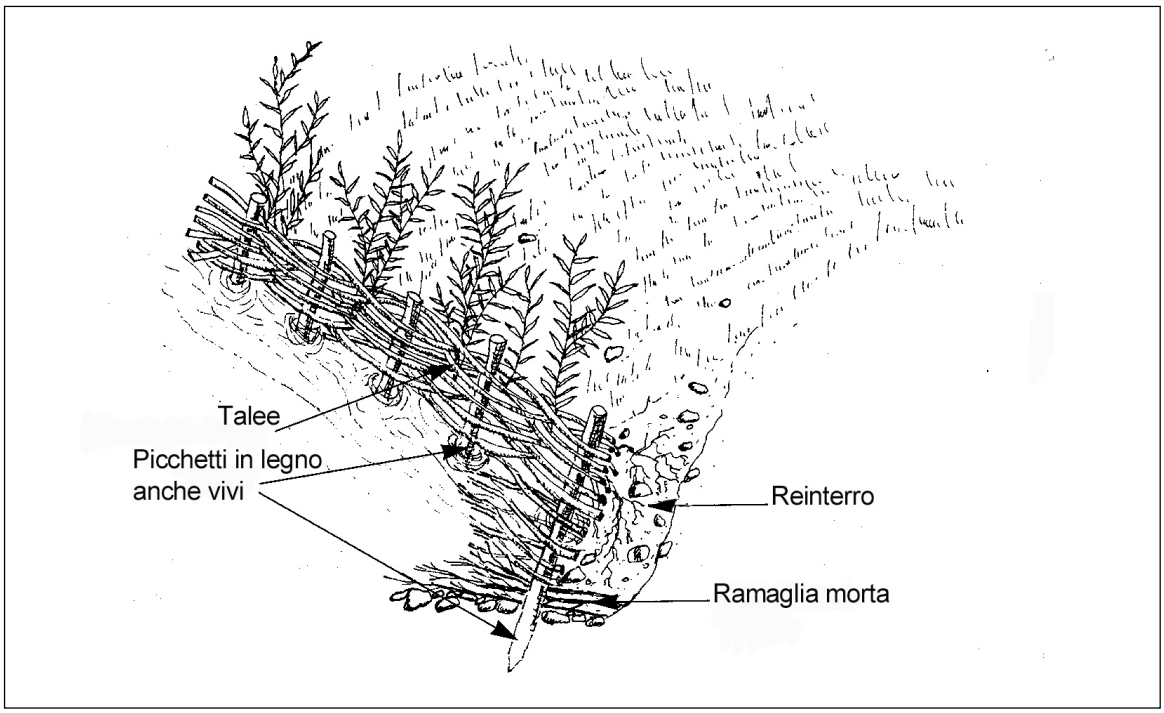


Fig. 14.27 - *Viminata viva spondale: prospettiva*



Modalità di esecuzione:
- i picchetti di legno (o le aste di ferro) vengono infissi nel terreno non rimaneggiato, per almeno due terzi della lunghezza (50 ÷ 80 cm, con interesse 1,0 ÷ 3,0 m). Fra questi picchetti (o aste) vengono infissi, ad intervalli di circa 30 cm i paletti vivi in legno;
- le verghe vengono intrecciate ai paletti. La verga più bassa deve essere posizionata in un piccolo solco scavato nel terreno. Le altre verghe saranno poste a dimora o fuori terra o in parte o totalmente interrate poiché possono meglio radicare. Devono essere collocate da 3 a 7 ÷ 8 verghe una sopra l'altra. I paletti non devono sporgere più di 5 cm al di sopra dell'intreccio;
- le viminate vengono generalmente disposte lungo file orizzontali, distanziate di 1,2 m ÷ 2 m, che attraversano l'intera sponda, oppure in file diagonali a forma di rombo o di quadrato che aumentano la capacità antierosiva. L'altezza della viminata fuori terra deve essere modesta (15 ÷ 30 cm) al fine di garantire una migliore stabilizzazione;
- rincalzo del terreno a monte della viminata per riempire eventuali vuoti.

Interventi collegati: inerbimenti, gradonate e sistemazioni di sponda.

Prescrizioni: le verghe avranno la base infissa nel terreno e orientata a monte. Le viminate hanno generalmente orientazione parallela a quella della direzione di flusso.

Limiti di applicabilità: corsi d'acqua ad elevata energia.

Vantaggi:
- immediato contenimento del materiale, sia su sponde, sia su versanti in erosione di modeste dimensioni;
- tecnica adattabile alla morfologia della scarpata.

Svantaggi:
- lavoro che richiede tempi lunghi e molta mano d'opera;
- non sempre sono reperibili verghe lunghe ed elastiche da intrecciare in quantità sufficiente;
- la radicazione è modesta rispetto alle quantità di materiale utilizzato;
- tecnica non utilizzabile su terreni argillosi o su terreni a granulometria grossolana;
- necessita di un'attenta manutenzione.

Effetto: consolidamento immediato degli strati superficiali di terreno, che migliora quando le verghe emettono radici. Il piede della sponda viene protetto da erosioni e scalzamenti.

Periodo di intervento: esclusivamente durante il periodo di riposo vegetativo (da tardo autunno a fine inverno).

Manutenzione e durata dell'opera: controllo pluriennale della radicazione delle verghe. Sostituzione immediata dei paletti spezzati e dei riquadri squarciati.

Possibili errori:
- riporto di quantità insufficiente di terreno a tergo della viminata;
- errore di valutazione del livello medio dell'ac-

Tab. 14.26 - *Viminata viva spondale: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,02		
c) Materiali:				
Verghe	cad	8		
Pali di legno	cad	1		
Filo di ferro	Kg	0,30		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**20,66 ÷ 36,15**
			£/m²	**40.000 ÷ 70.000**

qua che determina la morte del materiale vegetale impiegato se sommerso per periodi eccessivamente lunghi;
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.26**.

14.2.7 Graticciata

Funzioni: stabilizzazione, copertura, regimazione idraulica su versante o su sponde.

Descrizione: consiste nella realizzazione di strutture in legname trasversali alla linea di massima pendenza, composte da picchetti infissi nel terreno, realizzazione di intreccio di rami e pertiche legnose e posa a dimora di materiale vegetale vivo nel gradone ottenuto (**fig. 14.28**).

Descrizione da voce di capitolato: stabilizzazione e ricostruzione di sponda in erosione mediante:
- infissione di una fila di piloti in legno (ogni 2 ÷ 3 m) lungo la linea di sponda che si intende ricostituire;
- deposizione a tergo dei piloti di ramaglia morta a strati (o interi alberi sino a 20 cm di diametro) a formare una graticciata con le cime dei rami sporgenti per 50 ÷ 80 cm nel fiume e per uno spessore sufficiente ad eguagliare il livello medio dell'acqua;
- infissione di rami vivi di salice attraverso la graticciata sul fondo;
- appesantimento con pietrame o massi o pezzi di calcestruzzo o legatura con filo di ferro di ∅ 3 mm.

Durante le piene per la perdita di velocità dell'acqua verrà garantita la deposizione di materiale trasportato e l'intasamento graduale della graticciata. I salici garantiranno a loro volta il rinverdimento iniziale e verranno in seguito sostituiti da altri arbusti.

L'opera andrà eseguita e reintegrata durante il periodo di riposo vegetativo, compatibilmente con il livello dell'acqua.

Effetto: l'acqua, penetrando nella struttura, riduce la velocità e permette la sedimentazione del materiale trasportato che va gradualmente ad interrare l'area erosa.

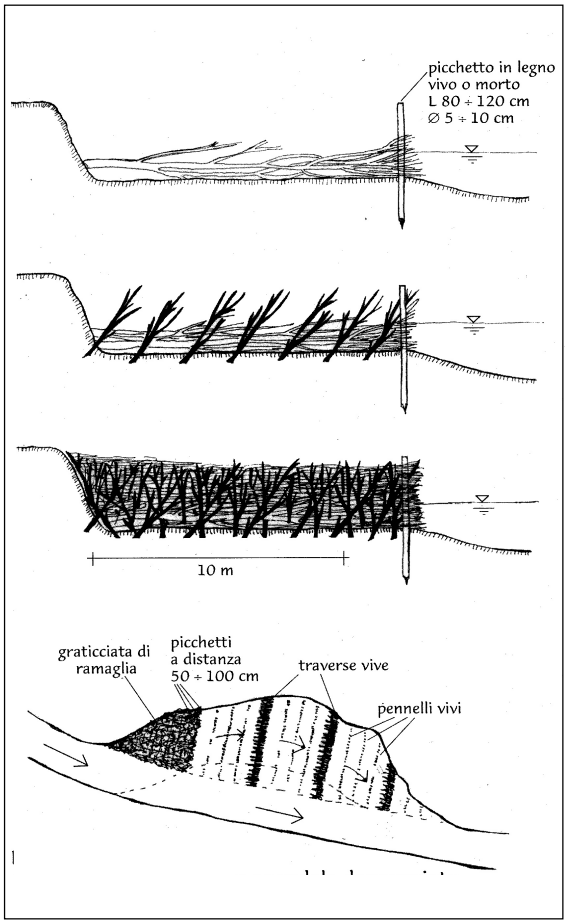
Campi d'applicazione: pendii e sponde di corsi d'acqua. Su sponde di corsi d'acqua con elevato trasporto solido, erosioni fino a 3 m possono essere ripristinate sfruttando la stessa forza delle acque. Nel caso di erosioni di maggiori dimensioni la graticciata va realizzata all'inizio della zona erosa verso monte, mentre più a valle si devono realizzare delle briglie o dei pennelli vivi. Può essere utilizzata efficacemente in combinazione con altre tecniche.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;
- tecnica non idonea in corsi d'acqua con velocità della corrente molto elevata.

Materiali impiegati:
- picchetti in legno vivo o morto (di legname reperito in loco, meglio se caratterizzato da buona durabilità ad esempio, castagno, maggiociondolo, ecc.), ∅ 5 ÷ 10 cm, lunghezza 0,80 ÷ 1.20 m;
- verghe di piante con alta capacità di propaga-

zione vegetativa e caratterizzate da buona flessibilità, con ∅ 3 ÷ 8 cm e lunghezza 2 ÷ 3 m;
- materiale vivo: talee, piantine a radice nuda o in fitocella. Nel caso che non sia possibile reperire materiale vivo sufficiente è possibile inserire anche materiale morto opportunamente mescolato a quello vivo.

Fig. 14.28 - *Esempio applicativo: sistemazione di un tratto spondale danneggiato*



Fonte: Regione Toscana, *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Vol. 2.

Modalità di esecuzione: la costruzione della graticciata è, di solito, simile a quella della viminata, ma, invece di realizzare strutture lineari, si fa in modo che gli intrecci si intersechino formando strutture a camera in modo da proteggere l'intera superficie su cui sono posti. Si posizionano i picchetti in legno ad una distanza di circa 50 ÷ 100 cm. I picchetti vengono infissi nel terreno, dopo di che vengono intrecciati con rami lunghi e flessibili di salice, che dovranno essere compressi l'uno sull'altro, fino a formare una parete. È necessario che una parte delle verghe sia interrata per evitare fenomeni di scalzamento al piede e permettere alle piante di vegetare. Può essere necessario ancorare la graticciata con filo di ferro.

Accorgimenti: particolare attenzione dovrà essere posta alla correttezza e completezza delle tecniche esecutive, altrimenti la graticciata ha una durata di pochissimi anni.

Vantaggi: effetto rapido su greti di fiume e pendii in erosione, si possono usare anche verghe di materiale morto. Tipo di intervento di semplice realizzazione, favorisce la creazione di *habitat* per l'ittiofauna.

Svantaggi: tecnica che richiede molto materiale vivo e molta mano d'opera per la sua realizzazione; modesta radicazione delle piante.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Manutenzione: controllo della radicazione delle talee. Interventi di riparazione di tratti spezzati e paletti scalzati al piede.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.27**.

14.2.8 Fascinata drenante su pendio

Descrizione sintetica: consiste nella realizzazione di dreni superficiali o subsuperficiali, disposti lungo il percorso più breve che seguireb-

Tab. 14.27 - *Graticciata: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,02		
c) Materiali:				
Verghe	cad	8		
Picchetti in legno	cad	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**20,66 ÷ 36,15**
			£/m²	**40.000 ÷ 70.000**

be l'acqua lungo il pendio, con eventuali diramazioni laterali per il miglioramento del drenaggio su tutta la scarpata (**fig. 14.29**).

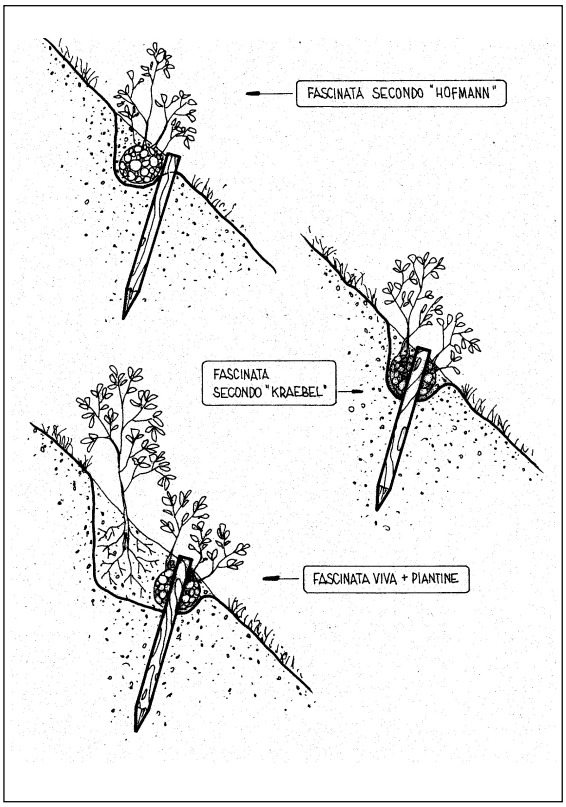
Voce di capitolato: costituzione di drenaggi con fascine disposti lungo il percorso più breve che seguirebbe l'acqua lungo il pendio con eventuali diramazioni laterali per un prosciugamento diffuso. Le fascine saranno formate da verghe o rami lunghi e diritti di piante legnose con capacità di propagazione vegetativa, anche in combinazione con ramaglia "morta" (ma non disseccata), che viene posta nella parte bassa a contatto con il terreno, disponendo le parti grosse sempre dalla stessa parte (in direzione opposta al deflusso). Il tutto a costituire fascine continue di ∅ 0,20 ÷ 0,60 m, legate ad intervalli di 50 cm con filo di ferro ∅ 1,5 ÷ 3 mm e fissate in solchi di drenaggio predisposti lungo il pendio mediante paletti di legno ∅ 8 ÷ 12 cm o di ferro ∅ 8 ÷ 14 mm, con eventuale rinforzo longitudinale con fili di ferro o corde di acciaio per evitare rotture dovute ad eccessive sollecitazioni da trazione nei tratti più ripidi. Per drenaggi di acque che si trovano ad una profondità maggiore di 30 ÷ 40 cm, verrà scavato un fosso ad opportuna profondità che verrà riempito con pietrisco drenante, eventualmente concomitante con un tubo di drenaggio, per uno spessore di 20 ÷ 60 cm, sormontato a sua volta da una fascinata viva che raggiunge la superficie. Altri abbinamenti possono essere effettuati tra diverse fascinate vive (superficiali) e fascinate morte (sotterrate). I fossi drenanti con fascinate andranno collegati ai collettori di sgrondo. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

Effetto: il drenaggio e la capacità di traspirazione delle fascine vive aumentano la stabilità del terreno e la copertura della vegetazione impedisce l'erosione superficiale per ruscellamento.

Campi di applicazione: l'intervento si presta per la captazione delle acque sotterranee nel caso in cui esse possono essere intercettate a profondità ridotte rispetto alla quota di campagna.

Materiali impiegati:
- ramaglia viva ed astoni con ∅ ≥3 cm di specie scelte in base alle caratteristiche stazionali, in gran parte con capacità di diffusione vegetativa;
- paletti in legname con ∅ medio di 8 ÷ 12 cm; sono comunque preferibilipicchetti in ferro

Fig. 14.29 - *Fascinata drenante su pendio*



Tab. 14.28 - *Fascinata drenante su pendio: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,8		
Operaio comune	Ora	0,8		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Verghe	cad			
Picchetti	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,50		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**32,02 ÷ 34,6**
			£/m²	**62.000 ÷ 67.000**

(tondini ad aderenza migliorata) con ∅ 8 ÷ 14 mm e lunghezza di 80 ÷ 150 cm;
- filo di ferro per legature: ∅ 2 ÷ 3 mm;
- eventuale ghiaia e tubo drenante microforato.

Modalità di esecuzione: scavo di una fossa di larghezza pari al diametro di una o due fascine (40-80 cm) e di profondità non superiore ai 40 cm. La pendenza minima è intorno al 2%.
Collocazione di fascine all'interno del fosso in modo tale da garantirne il completo riempimento. Le fascine vengono successivamente ricoperte di un sottile strato di terreno e quindi fermate con paletti di legno vivi, oppure con aste di ferro che vengono spinte obliquamnete ad intervalli di minimo 80 cm (in corrispondenza delle legature), attraverso le fascine nel terreno. Il numero dei picchetti è proporzionale alla pendenza del fosso. Se il pendio è molto ripido le fascine possono essere fermate da funi di acciaio legate a pali ben fissi nel terreno, al fine di contrastare le forze di trazione esercitate dall'acqua.

Vantaggi: materiali facilmente reperibili in zona; in un intervento complessivo che prevede la realizzazione di altre opere con tecniche di Ingegneria Naturalistica può essere utilizzato anche il materiale che deriva dagli scarti della preparazione delle talee. Immediata azione drenante "meccanica" migliorata in seguito all'azione evapotraspirante delle piante. Economicamente conveniente in aree argillose dove il reperimento di ciottoli e ghiaia è difficile ed oneroso. Esteticamente gradevole ed adatto anche per un prosciugamento diffuso delle acque sotterranee in zone d'emergenza, attraverso una disposizione dei solchi a "V" e successivo collettamento in un canale principale di allontanamento delle acque dall'area instabile.

Svantaggi: è necessaria una grande quantità di materiale vivo e molta manodopera. Non possono essere realizzati con questo schema drenaggi profondi (maggiori di 80 cm dal piano campagna).

Manutenzione: tagli frequenti della vegetazione arbustiva che si sviluppa dalle fascine al fine di mantenerla elastica, in modo da permettere il passaggio dell'acqua in superficie (qualora, come spesso succede, le linee di drenaggio con fascine siano anche via preferenziali per lo scorrimento delle acque meteoriche).

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.28**.

14.2.9 Fascinata viva spondale

Descrizione sintetica: opera idraulica longitudinale per consolidamento al piede e rinaturalizzazione di sponde fluviali e lacustri mediante la posa di fascine viventi realizzate con specie in grado di riprodursi per via vegetativa. La base del solco che ospita la fascina può essere rivestita da ramaglia che sporge nell'acqua al di sotto della fascina stessa. La fascina viene assicurata mediante l'infissione di picchetti in legno con orientazione alternata, per rendere così la struttura più elastica e solidale in caso di piena (**fig. 14.30**).

Descrizione da capitolato: protezione del piede di sponda con fascinata viva in corsi d'acqua con portata relativamente costante e il cui livello medio permetta che la fascina si trovi fuori dall'acqua per almeno tre mesi durante il periodo di vegetazione. Le fascine saranno costituite da rami vivi di specie legnose adatte alla riproduzione vegetativa (salici, tamerici, miricaria) mescolati ad altre specie, avranno ∅ 0,20 ÷ 0,50 cm legate con intervalli di 30 cm con filo di ferro di almeno 2 mm, e verranno poste in modo da sporgere per 1/2 ÷ 1/3, in un fossatello predisposto al piede della sponda, su uno strato di rami che sporgeranno per almeno 50 cm da sotto la fascina fuori dall'acqua. Le fascine verranno fissate ogni 0,8 ÷ 1 m con pali di salice vivi o con barre in ferro e dovranno essere rincalzate con terreno per garantire la crescita delle piante. La messa in opera potrà avvenire soltanto durante il periodo di riposo vegetativo. Nella fascinata rinforzata sino all'altezza della portata di magra l'alveo viene rivestito con massi di varia dimensione a rinforzo basale della parte sommersa.

Campi di applicazione: corsi d'acqua con portate e livello medio relativamente costanti; generalmente in combinazione con altre opere di difesa spondale.

Limiti di fattibilità: l'applicazione delle fascinate spondali è limitata ai corsi d'acqua con velocità della corrente inferiore ai 3 m/s e con ristrette oscillazioni del livello medio dell'acqua; durante il periodo vegetativo la fascina si deve trovare almeno parzialmente fuori dall'acqua.

Materiali impiegati:
- ramaglia di specie riproducibili per via vegetativa: salici in varietà di cui i più usati sono il salice rosso ed il salice di ripa *(Salix purpurea* e *Salix eleagnos)*; tamerice *(Tamarix spp.)*; culmi di canna; eventualmente ramaglia di altre specie reperibili in loco;
- filo di ferro (∅ 2 ÷ 3 mm);
- tondino di ferro ad aderenza migliorata (∅ 12 ÷ 16 mm);
- picchetti in legno di castagno o di salice (∅ 8÷12 cm);
- terreno di riporto.

Grado di reperibilità dei materiali: la reperibilità dei salici o delle altre specie necessarie, lungo le sponde di corsi d'acqua è generalmente buona; il taglio è subordinato a richiesta di autorizzazione. Per tutti gli altri materiali la reperibilità è buona.

Modalità di esecuzione:
- recupero di verghe di specie legnose con capacità di propagazione vegetativa (salici, tamerici) ∅ minimo 3 cm e loro assemblaggio (preferibilmente su cavalletti); la posa delle verghe dovrà avvenire in modo tale da garantire una disposizione equamente alternata degli apici e delle basi fino a formare fascine di ∅ 20 ÷ 50 cm e lunghezza 2 ÷ 3 m fino a 4 m; infine legatura con filo di ferro ∅ 2 ÷ 3 mm ad intervalli di circa 50 cm;
- formazione di un solco poco profondo (20 ÷ 60 cm) e posa della fascina in modo tale che 1/2 ÷ 1/3 della stessa venga a trovarsi nel terreno o in acqua, all'altezza del livello di portata media e le stesse abbiano le estremità compenetranti;
- fissaggio della fascina con pali di salice vivi (o morti) o con barre di acciaio passanti attraverso la fascina stessa e posti ad una distanza l'uno dall'altro di 0,80 ÷ 1,00 m e saranno orientati alternativamente verso monte e verso valle rispetto alla fascina;
- ricoprimento delle fascine con uno strato di terreno tale da lasciare sporgere solo brevi segmenti di rami.

Parametri e metodi di calcolo: i parametri idraulici indicativi per l'applicazione sono la velocità della corrente (v) < 3 m/s, pendenza dell'alveo (i) < 5%, le oscillazioni del livello medio dell'acqua < 1 m. Limiti stazionali di impiego delle specie vegetali corrispondono generalmente ai limiti di fattibilità; per la costruzione delle fascine viventi è consigliabile l'impiego di specie arbustive autoctone a riproduzione vegetativa.

Prescrizioni:
- a protezione della fascina contro lo scalzamento in caso di piena, viene posta al di sotto della fascina ramaglia di salice a formare una gradonata, sporgente verso l'acqua di 20 ÷ 50 cm;
- le estremità delle fascine devono compenetrarsi l'una con l'altra.

Limiti di applicabilità: la realizzazione di fascine spondali determina un restringimento dell'alveo, è necessario quindi prevedere lo spazio necessario per il regolare deflusso delle acque.

Vantaggi:
- tecnica di realizzazione semplice e veloce;
- facile reperibilità dei materiali in loco.

Svantaggi:
- radicazione delle fascine abbastanza superficiale;
- fascinata sensibile ai movimenti delle masse terrose;
- in caso di totale attecchimento è necessario intervenire con manutenzioni di potatura periodiche;
- restringimento della sezione di un corso d'acqua.

Effetto: consolidamento immediato della sponda, effetto amplificato successivamente, non appena le piante hanno emesso le radici; riduzione dell'erosione di sponda.

Periodo di intervento: l'impiego dei materiali vivi dovrà avvenire nel periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori:
- errato posizionamento rispetto al livello medio dell'acqua;
- eccessivo ricoprimento;
- insufficienti ancoraggi;
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

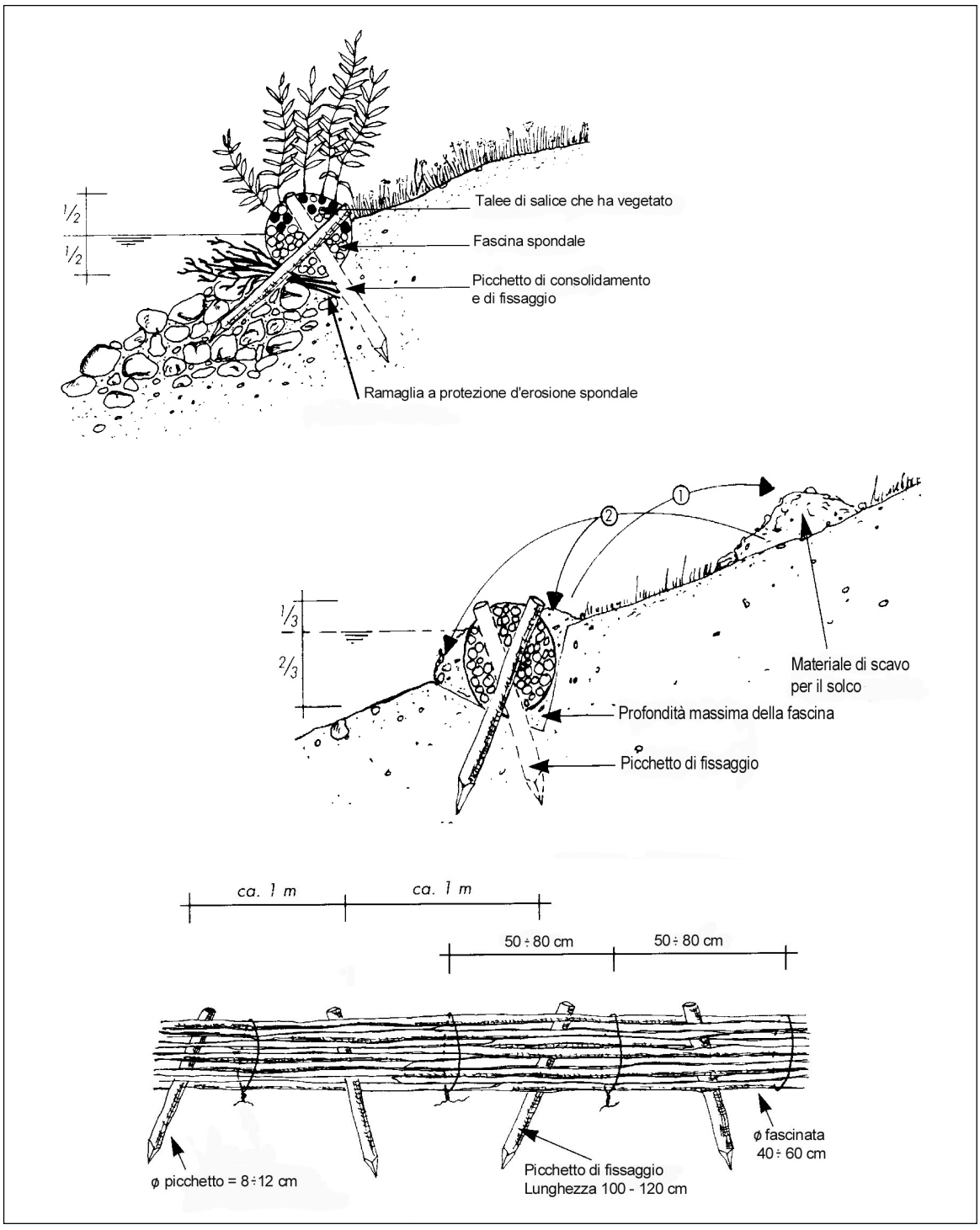
Note: qualora non fosse necessaria una elevata densità della vegetazione spondale da parte dei salici, al materiale vivente per la costruzione delle fascine potrà essere unita ramaglia morta di conifere o latifoglie non moltiplicabili per via vegetativa il cui scopo è, nelle prime fasi, puramente meccanico. Nella parte sommersa può essere necessaria la posa di fascine costruite interamente con materiale morto (ramaglia di specie arbustive o arboree). Una variante per aree lagunari o stagnanti è rappresentata dalla fascina con culmi di canna *(Phragmites communis; P. australis)*.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.29**.

Tab. 14.29 - *Fascinata viva spondale: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,25		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,02		
c) Materiali:				
Picchetti	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,60		
Verghe	cad	20		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**76,00 ÷ 27,37**
			£/m²	**46.000-53.000**

Fig. 14.30 - *Fascinata viva spondale*



14.2.10 Canaletta in legname

Funzioni: regimazione idraulica su versante.

Descrizione: opere di drenaggio in terreni incoerenti. Le canalette in legname si realizzano in terreni instabili che necessitano di un'apposita struttura in grado di mantenere nel tempo, fino a consolidamento avvenuto, il profilo del canale impostato (**fig. 14.31**).

Effetto: intercettazione ed allontanamento immediato delle acque di scorrimento sub-superficiali.

Campi di applicazione: strutture realizzate per il contenimento e lo smaltimento delle acque meteoriche e di scorrimento sub-superficiale e per limitare i fenomeni di erosione e dilavamento dei versanti, principali cause di instabilità degli stessi.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifi-

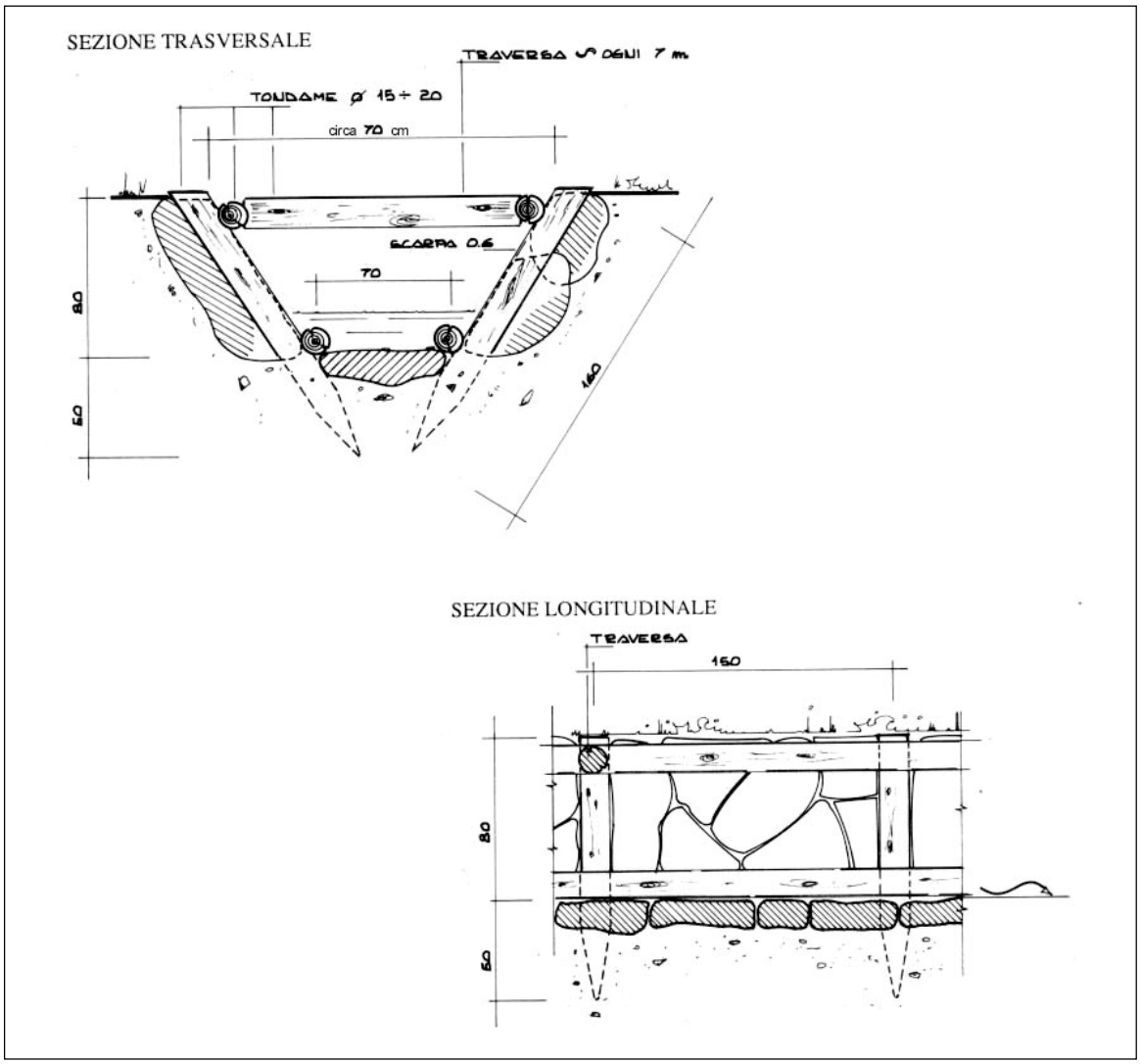
che principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio).

Inadeguatezza della tecnica nel caso di eccessive portate del tratto su cui intervenire.

Materiali impiegati:
- pali di castagno per la realizzazione dei telai, ∅ 8 ÷ 15 cm e lunghezza 2,5 ÷ 3 m (anche cipresso o altre resinose);
- pali di castagno o cipresso od altre resinose per i rivestimenti interni ∅ 8 ÷ 12 cm, lunghezza variabile;
- tavolame in castagno spessore 2,5 cm, larghezza 15 ÷ 25 cm, lunghezza 2,0 ÷ 2,5 cm;
- chiodi da edilizia aventi lunghezza 12 ÷ 15 cm;
- filo di ferro cotto, ∅ 1,5 ÷ 2,5 mm;
- paleria di castagno e in ferro ad aderenza migliorata per gli ancoraggi;
- geocompositi impermeabili.

Modalità di esecuzione: generalmente presentano sezione ad "U", a "V" o trapezia.
Sono costruite con tavolame o pali di castagno di diversa larghezza, diametro e lunghezza eventualmente tagliati lungo l'asse longitudinale. S'impiegano, per la realizzazione, normali chiodi da edilizia aventi lunghezza in funzione degli spessori del materiale utilizzato, filo di ferro cotto e paletti in legname o in ferro per gli ancoraggi opportunamente dimensionati.
Con l'ausilio di idoneo mezzo meccanico o manualmente si realizza lo scavo, e s'iniziano a posare i legnami preventivamente assemblati secondo il profilo prescelto che costituiscono l'ossatura della canaletta. Su questi telai verranno chiodati dall'interno i legnami che costituiranno la base e le pareti. In genere, nei versanti, la parete a monte dovrà avere un maggiore sviluppo in altezza in grado di contenere l'even-

Fig. 14.31 - *Canaletta in legname e pietrame*



Fonte: Regione Emilia Romagna, *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica* (modificato).

tuale franamento di materiale. Al contempo, nei casi in cui si voglia aumentare l'effetto drenante delle acque sub-superficiali, sarà opportuno distanziare gli ultimi ordini di legname in modo da realizzare una sorta di griglia filtrante. Una volta realizzata la struttura portante, si procederà, per impermeabilizzarla, all'intasamento delle fessure con ghiaino bitumato a freddo e quindi alla semina con idoneo miscuglio. A volte in presenza di portate ridotte ma costanti con scarso trasporto di materiale fine, oppure nei tratti in cui risulta oneroso questo procedimento, può essere conveniente posare internamente alla struttura un tessuto impermeabile del tipo di quelli comunemente impiegati nei drenaggi. Questi tessuti sintetici permettono di trattenere anche il particolato in sospensione. Successivamente il tutto può essere seminato con metodi tradizionali o con idrosemina. Qualora invece in zona sia presente del materiale litoide, quest'ultimo può essere proficuamente impiegato per la realizzazione delle canalette stesse. Questa tipologia di intervento risulta infatti di conveniente applicazione nei piccoli corsi d'acqua, dove l'impermeabilizzazione del fondo è data dal progressivo accumulo, negli interstizi delle pietre, di materiale più fine che satura le fughe tra le pietre stesse.

Accorgimenti: è opportuno procedere alla posa dei legnami longitudinali in modo e maniera tali che due pali affiancati non abbiano inizio e fine nello stesso punto, ma risultino sfalsati tra di loro e posizionare, in corrispondenza di ogni telaio, dei distanziatori in legname chiodandoli all'interno delle due pareti laterali. Nei casi in cui lo sviluppo della canaletta sia elevato e con forti pendenze, è consigliabile realizzare lungo il percorso briglie, pozzetti di contenimento e opere trasversali costituite da legname chiodato in modo da trattenere il materiale più grossolano e far passare quello più fine.

Vantaggi: facilità di esecuzione, leggerezza e adattabilità del manufatto. Costi contenuti.

Svantaggi: rispetto ai drenaggi tradizionali la fase di posa e messa in opera richiede più tempo. I costi aumentano quanto più difficile risulta l'approvvigionamento del materiale sul cantiere.

Periodo di intervento: durante tutto l'arco dell'anno.

Manutenzione: ripristino funzionalità mediante sostituzioni di parti danneggiate; irrobustimento strutturale con chiodatura di nuovi traversi; sostituzione tessuto danneggiato e ripristino impermeabilizzazione.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.30**.

14.2.11 Ribalta viva

Descrizione sintetica: strati alterni di fascine vive (fascinate), disposte longitudinalmente alla sponda, e ramaglia viva di salici (gradonate), disposta trasversalmente alla sponda, sopra il livello medio dell'acqua. Tale modulo va ripetuto fino al riempimento dell'erosione e al raggiungimento dell'altezza desiderata. Si completa a tergo delle fascine con riempimento di inerte. Al di sotto del livello medio dell'acqua si pone materiale morto. Le fascine vengo-

Tab. 14.30 - *Canaletta in legname: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora			
Operaio comune	Ora			
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
Ragno meccanico	Ora			
Motosega a catena	Ora			
c) Materiali:				
Pali per la realizzazione dei telai	m^3			
Tavolame in castagno	m^3			
Chiodi da edilizia	cad			
Filo di ferro cotto	Kg			
Paleria di castagno e in ferro	m^3			
Geocompositi impermeabili	m^2			
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**76,00 ÷ 27,37**
			£/m^2	**46.000-53.000**

no fissate con paletti di legno o ferro, disposti con orientazione alternata in funzione della pressione idraulica (**fig. 14.32-14.35**).

Descrizione voce di capitolato: ricostruzione e stabilizzazione di sponda mediante strati alterni di ramaglia viva di salici, tamerici o altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa, disposti perpendicolarmente alla linea di sponda e fascine di salici, disposte longitudinalmente alla sponda stessa. Il modulo andrà ripetuto sino a riempire l'erosione e raggiungere l'altezza desiderata, completando la costruzione con riempimento con inerte a tergo delle fascine e sopra la ramaglia. La parte ubicata sotto il livello medio dell'acqua andrà rivestita con massi da scogliera (se del caso basati su geotessuto) o con fascine morte. La ramaglia, eventualmente disposta in obliquo rispetto alla corrente, andrà legata con molti punti di legatura e fissata con piloti in funzione della pressione idraulica. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

Campi di applicazione: sistemazione di sponde in erosione in corsi d'acqua con portate e livello medio relativamente costanti anche se con elevata profondità dell'acqua.

Limiti di fattibilità: l'applicazione della ribalta viva è possibile lungo i corsi d'acqua con velocità della corrente inferiore ai 3,5 m/s e con limitate oscillazioni del livello medio dell'acqua; la fascina di base si deve trovare fuori dall'acqua durante il periodo vegetativo. La ribalta viva possiede caratteristiche di resistenza alla corrente più elevate rispetto alla fascinata spondale semplice.

Materiali impiegati:
- per le fascine:
  - ramaglia di specie riproducibili per via vegetativa: salici in varietà di cui i più usati sono il salice rosso ed il salice di ripa *(Salix purpurea e S. eleagnos);* tamerice *(Tamarix)*. Eventualmente ramaglia di altre specie reperibili in loco;
  - filo di ferro (∅ 2÷3 mm);
  - tondino di ferro ad aderenza migliorata (∅ 12÷16 mm);
  - picchetti in legno di castagno o di salice (∅ 8÷12 cm;
- per le gradonate:
  - talee di salice o di altre specie a riproduzione vegetativa, piantine radicate di specie arbustive ripariali;
  - eventualmente pietrame da disporre sotto la linea di morbida del corso d'acqua.

Grado di reperibilità: buono per tutti i materiali.

Modalità di esecuzione:
- formazione di un solco alla base della sponda.
- posa in opera di fascina morta e suo fissaggio con 1 picchetto ogni 80 cm a disposizione alternata verso monte e verso valle rispetto alla fascina;
- posa in opera di ramaglia di salice, tamerici;
- posa in opera di fascine vive di salici e loro fissaggio con picchetti; le fascine andranno disposte in modo tale che la superiore non copra quella inferiore;
- ricopertura con terreno;
- completamento dell'opera con ripetizione dei moduli fino all'altezza progettata e riempimento a tergo con inerte;
- nel caso di erosione profonda, il piede viene consolidato con massi.

Parametri e metodi di calcolo: i parametri idraulici indicativi per l'applicazione sono la velocità della corrente (v) < 3,5 m/s, pendenza dell'alveo (i) < 5%, le oscillazioni del livello medio dell'acqua ≤1 m.

Prescrizioni:
- a protezione della fascina contro lo scalzamento in caso di piena, viene posta, al di sotto della fascina, della ramaglia di salice a formare una gradonata, sporgente verso l'acqua di 20 ÷ 50 cm;
- le estremità delle fascine devono compenetrarsi l'una con l'altra.

Limiti di applicabilità: la realizzazione di fascine spondali determina un restringimento dell'alveo, è necessario quindi prevedere lo spazio necessario per il regolare deflusso delle acque.

Limiti stazionali di impiego delle specie vegetali: risulta opportuno l'impiego di specie arbustive autoctone sia come talee che come piantine radicate. La ribalta richiede grandi quantità di salici o altri materiali vivi.

Vantaggi:
- immediatamente efficace e resistente alla pressione dell'acqua;
- i materiali impiegati sono facilmente reperibili in zona;
- ha una resistenza alla corrente di un corso d'acqua superiore a quella della fascinata spondale.

Svantaggi:
- richiede molto materiale vivo e tempi medi di realizzazione;
- lo sviluppo dei salici porta ad un restringimento dell'alveo.

Effetto: immediata protezione spondale, resiste alle inondazioni, la ramaglia agisce in modo tale da rallentare la corrente dell'acqua e quindi l'erosione spondale.

Periodo di intervento: riposo vegetativo.

Possibili errori:
- insufficiente ancoraggio;

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- impiego con eccessiva pendenza della sponda: si potrebbe ottenere un'eccessiva copertura tra le fascine (la superficie superiore copre quella inferiore) non permettendo adeguato sviluppo della vegetazione.

Note:
- la parte ubicata sotto il livello medio dell'acqua potrà essere rivestita con massi da scogliera o con fascine morte. La ramaglia andrà legata con molti punti di legatura e fissata con piloti in funzione della pressione idraulica;
- la ribalta è vantaggiosa rispetto a sistemazioni rigide; ha il vantaggio di essere immediatamente efficiente e resistente nei confronti di elevate forze di trazione.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.31**.

14.2.12 Cordonata

Descrizione sintetica: è un'opera che prevede la realizzazione di banchine perpendicolari alla linea di massima pendenza, costituite da uno scavo a reggipoggio (10°), nel quale viene posto a dimora materiale vegetale vivo (**figg. 14.36a-14.36b**).

Tab. 14.31 - *Ribalta viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1		
Operaio comune	Ora	1		
b) Noli:				
Autocarro	Ora			
c) Materiali:				
Picchetti acciaio	Kg	1,8		
Picchetti legno	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,30		
Talee di salice	cad	30		
Verghe vive	cad	18		
Verghe morte	cad	24		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**46,48 ÷ 54,23**
			£/m²	**90.000 ÷ 105.000**

Fig. 14.32 - *Ribalta viva*

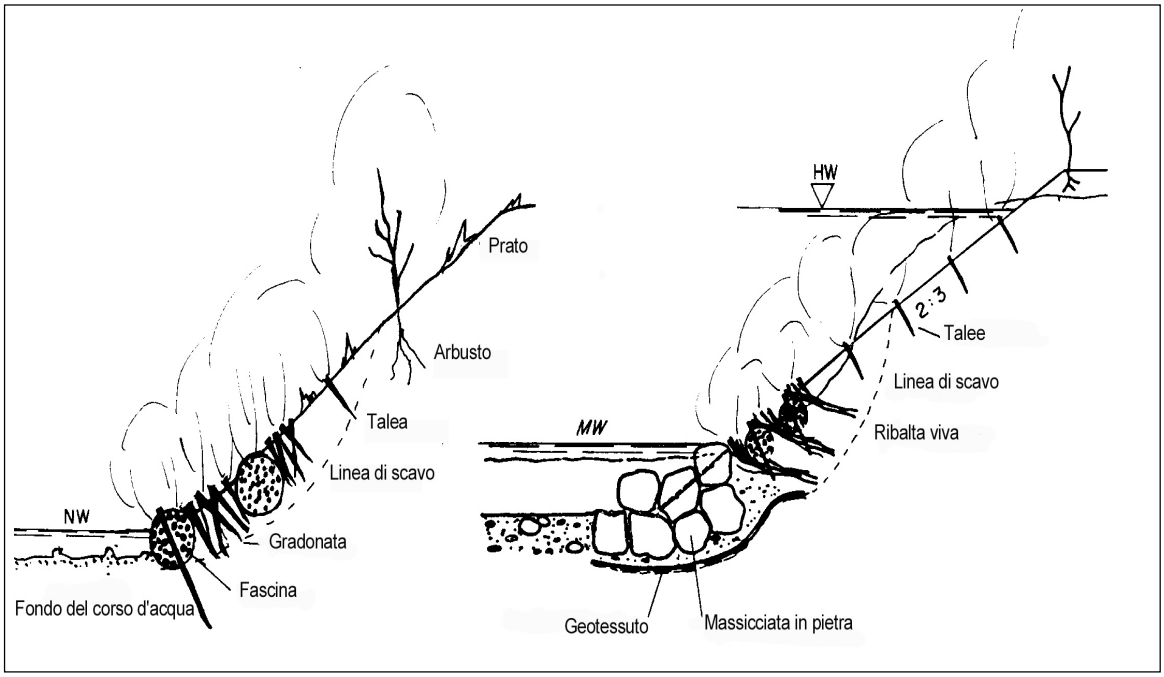


Fig. 14.33 - *Ribalta viva*

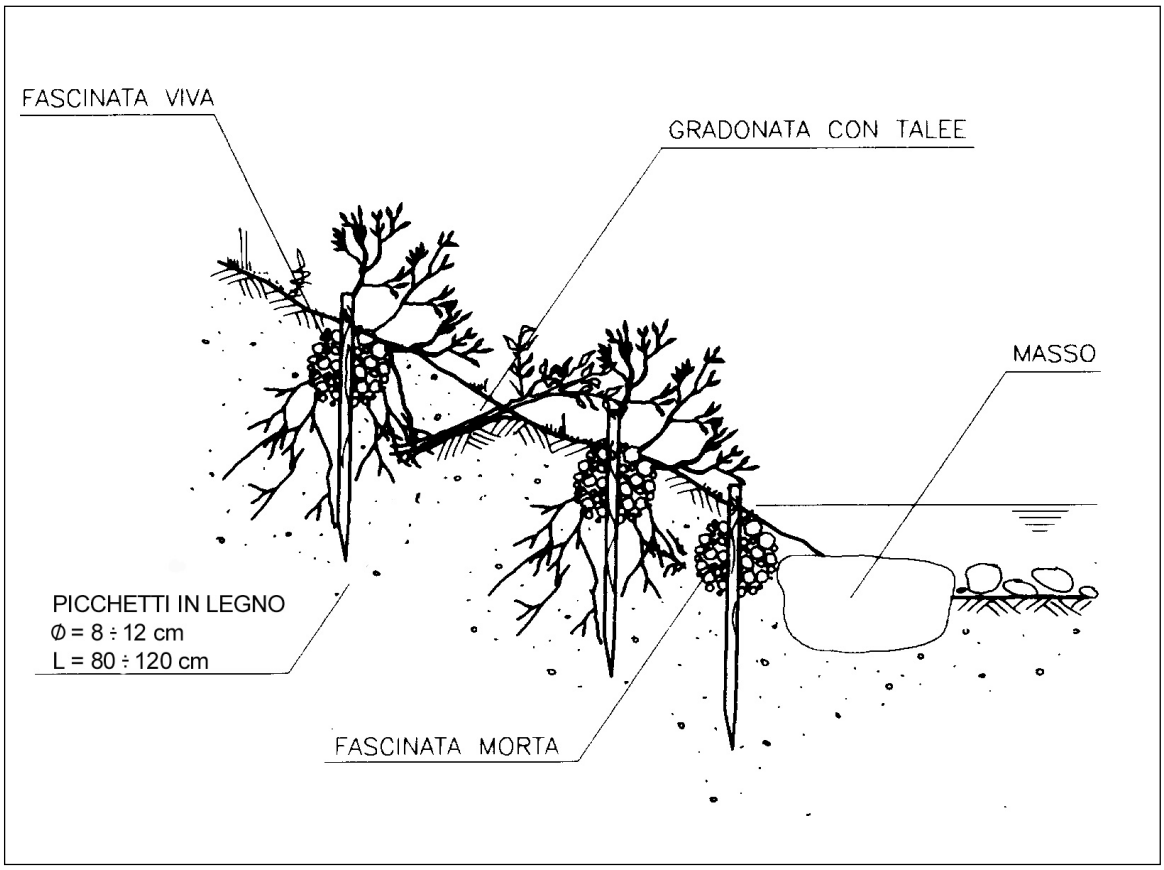


Fig. 14.34 - *Ribalta viva*

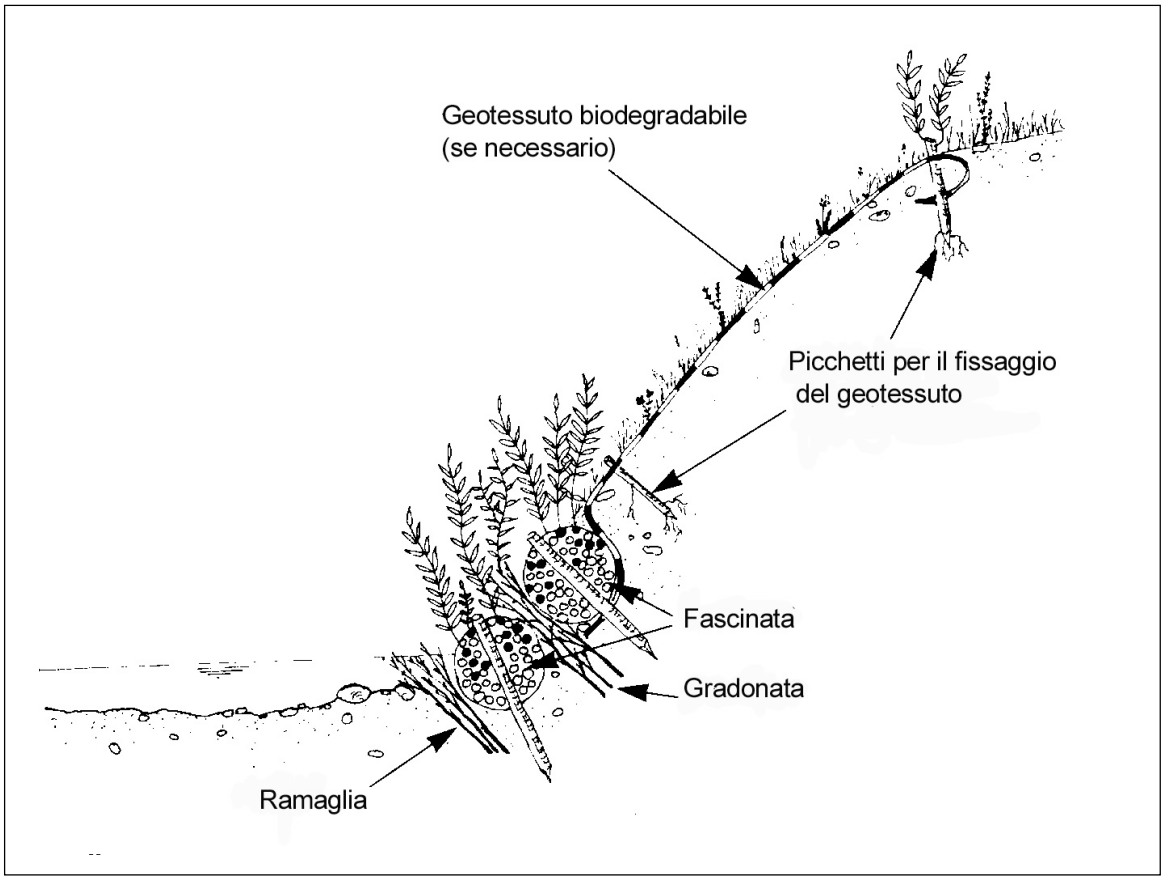
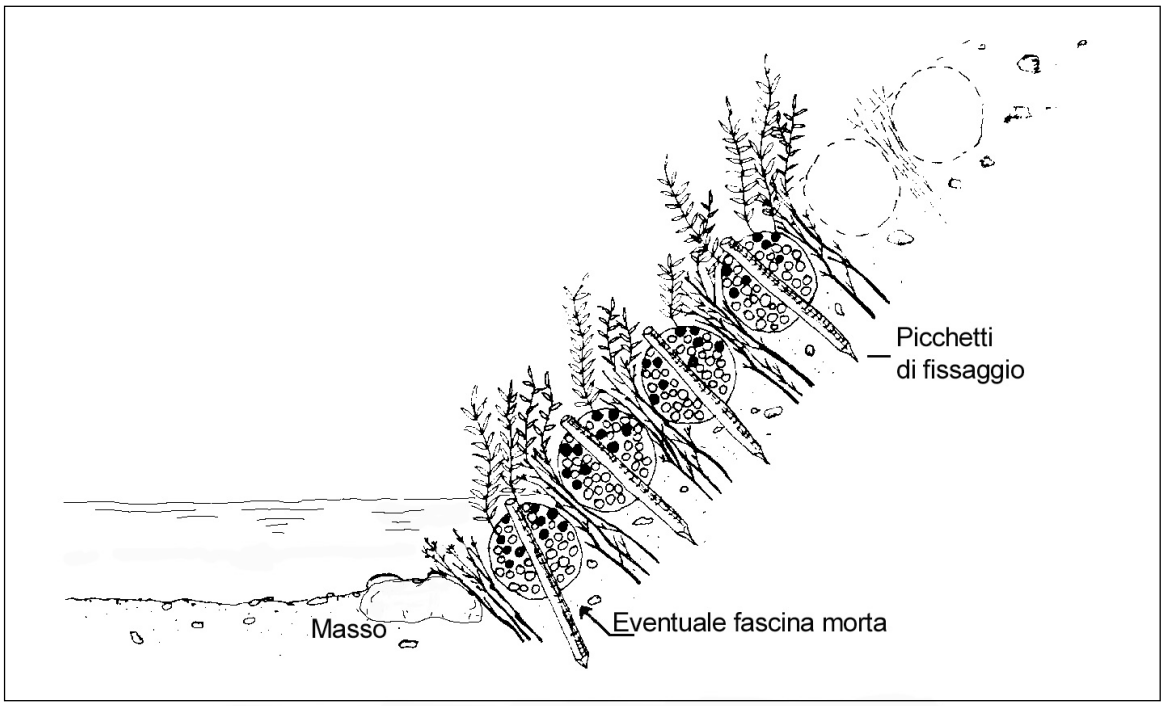


Fig. 14.35 - *Ribalta viva*



Voce di capitolato: stabilizzazione di pendii anche molto ripidi e su terreni instabili mediante le seguenti operazioni nell'ordine:
- formazione di banchine o terrazzamenti ad L orizzontali di larghezza minima di 35 ÷ 50 cm, con leggera contropendenza (minimo 10°) distanti circa 2 ÷ 3 m l'uno dall'altro, su cui si dispone longitudinalmente dello stangame preferibilmente di resinosa o di castagno con corteccia di ∅ 6 ÷ 12 cm, su due file parallele, una verso l'esterno fissata con picchetti in legno o ferro e una verso l'interno dello scavo;
- stesura di un letto di ramaglia in preferenza di conifere sul fondo dello scavo;
- ricopertura con uno strato di terreno di circa 10 cm;
- collocazione a dimora di talee di salice (od altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa) in ragione di 10 ÷ 25 talee per metro, sporgenti verso l'esterno del pendio per almeno 10 - 20 cm;
- ricopertura del tutto con inerte proveniente dallo scavo superiore.

La messa in opera della cordonata potrà avvenire soltanto durante il periodo di riposo vegetativo.

Campi di applicazione: utili per la stabilizzazione superficiale di scarpate naturali e artificiali, di rilevati e accumuli di materiale sciolto, di zone d'erosione, di terreni con la marcata tendenza allo smottamento.
Adatta anche in condizioni pedologiche difficili, poiché migliora la struttura del suolo ed aumenta l'apporto di sostanza organica; migliora anche il drenaggio in terreni umili, argillosi o marnosi.

Fattibilità: non possono essere utilizzate per scarpate in roccia o con roccia subaffiorante. Si differenzia dalle gradonate per la maggior quantità di materiale.
Questo intervento consente però di migliorare efficacemente la stabilità superficiale del versante.

Materiali impiegati:
- piantine di due anni;
- stangame reperito in loco, preferibilmente di resinoso o castagno con corteccia, avente ∅= 6 ÷ 12 cm e L > 2m;
- picchetti in legno ∅ = 12 ÷ 15 cm o piloti in ferro profilati a "T" idonei a sostenere la struttura;
- tondini in ferro;
- filo di ferro zincato;
- talee di salice o altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa, di lunghezza > 60 cm e ∅ 3 ÷ 10 cm;
- piantine a radice nuda o in fitocella;
- abbondante ramaglia di conifere.

Modalità di esecuzione: per tutti i tipi di cordonate si realizzano dei gradoni, scavando delle banchine di profondità pari a 50 ÷ 100 cm, con contropendenza a monte di circa 10°, realizzando lo scavo lungo le isoipse senza destabilizzare il pendio. Tanto più ripido sarà il versante tanto meno profonda dovrà essere la banchina. L'opera procede dal basso verso l'alto, in modo che il materiale di scavo della banchina superiore serva come rinterro per quella sottostante. In questo modo quando si è arrivati alla sommità del pendio le parti inferiori sono rimboschite, ad eccezione dell'ultimo gradone per il riempimento del quale è neces-

sario eseguire un piccolo scavo a monte. I gradoni sono disposti di solito secondo le curve di livello, ma possono anche essere leggermente inclinati in modo da favorire il drenaggio. La distanza tra i gradoni è pari a circa 2 m ed è funzione della natura del terreno, soprattutto della sua tendenza allo scivolamento.

Interventi collegati: tecniche di stabilizzazione del pendio.

Periodo di intervento: esclusivamente durante il riposo vegetativo (novembre-marzo).

Manutenzione: sfalcio ed interventi sulle fallanze.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.32**.

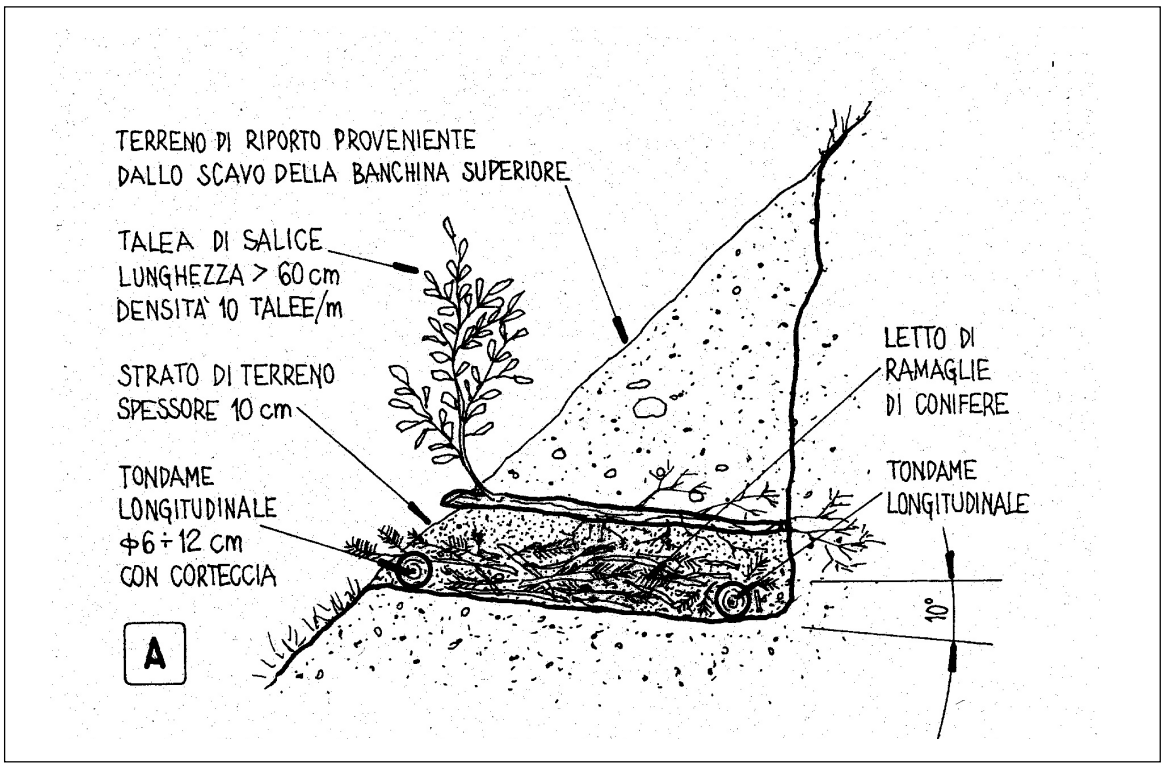
14.2.13 Gradonata viva

Descrizione dell'opera e funzioni principali: è un'opera che prevede la realizzazione di banchine orizzontali o suborizzontali, costituite da uno scavo inclinato a reggipoggio di circa 5° ÷ 10°, nel quale viene posto a dimora materiale

Tab. 14.32 - *Cordonata: analisi prezzi*

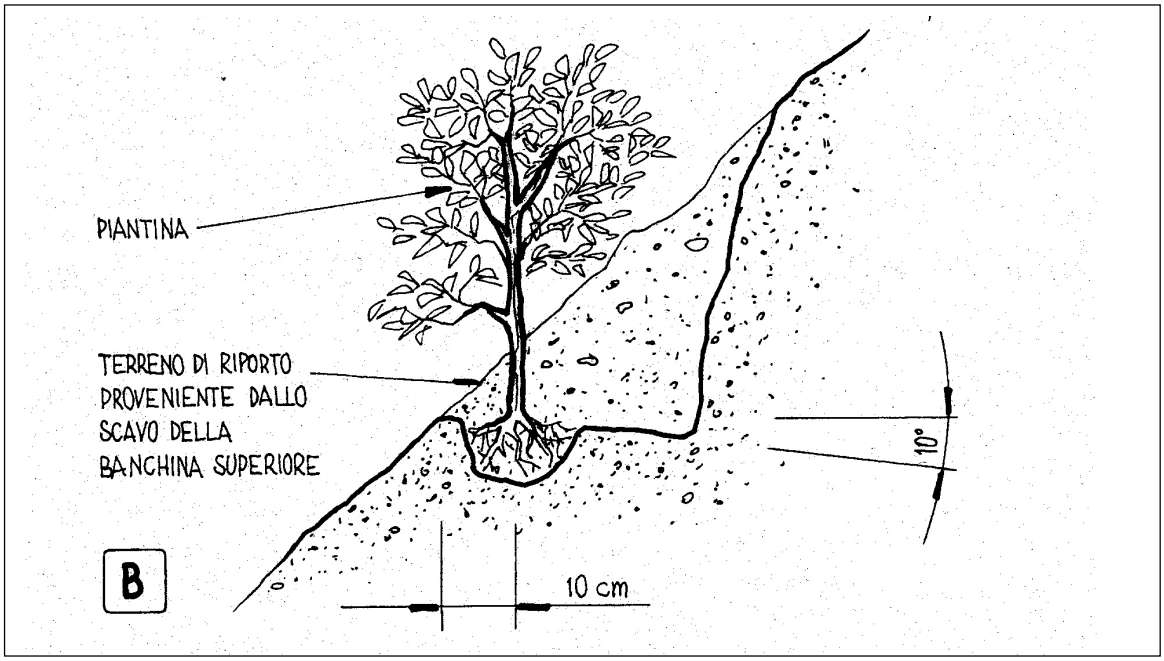
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,25		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,002		
Ragno meccanico	Ora	0,30		
c) Materiali:				
Piloti	Kg	1,4		
Pertiche	Kg	20		
Filo di ferro	Kg	0,30		
Talee di salice	cad	10		
Ramagli di conifere	Kg	20		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**32,02 ÷ 36,15**
			£/m²	**62.000 ÷ 70.000**

Fig. 14.36a - *Cordonata*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", supplemento n. 19, 2000.

Fig. 14.36b - *Cordonata viva tipo*



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", supplemento n. 19, 2000.

vegetale vivo. Ha una funzione di stabilizzazione di tipo meccanico del pendio ed inoltre interrompe il deflusso superficiale delle acque meteoriche. L'impiego di alcune specie vegetali (salici, frassini) favorisce la diminuzione del contenuto d'acqua nel terreno rendendolo più stabile (**fig. 14.37**). Normalmente vengono realizzate tre diverse tipologie di gradonate:

- la *gradonata con talee* (sistemazione a cespuglio secondo Schiechtl);
- la *gradonata con piantine* (sistemazione a siepe secondo Schiechtl);
- la *gradonata mista con talee e piantine* (sistemazione a siepe-cespuglio secondo Schiechtl).

Descrizione da voce di capitolato:

- con ramaglia viva di salici, tamerici, ecc.;
- con latifoglie radicate;
- mista;
- su rilevato;
- rinforzata.

Stabilizzazione di pendii mediante scavo di gradoni o terrazzamenti con profondità in genere di 0,5 ÷ 1 m con pendenza verso l'interno di 5 ÷ 10° e del pari contropendenza trasversale di almeno 10° e realizzazione di file parallele dal basso verso l'alto con interasse 1,5 ÷ 3 m, riempiendo la gradonata inferiore con il materiale di scavo di quella superiore:

a) con messa a dimora in appoggio al gradone di ramaglia con tutte le ramificazioni di piante legnose con capacità di riproduzione vegetativa (salici, tamerici, ecc.) disposta in modo incrociato alternando le diverse specie e i diversi diametri (età) dei rami. I rami devono sporgere per almeno 1/4 della loro lunghezza e gli interstizi tra i rami devono essere accuratamente intasati di terreno per evitare eccessive circolazioni di aria e disseccamento;
b) con messa a dimora in appoggio al gradone di piante radicate di latifoglie resistenti all'inghiaiamento e in grado di formare radici avventizie, di 2 ÷ 3 anni, in ragione di 5 ÷ 20 piante per 1 m, a seconda della specie, ed aggiunta di terreno vegetale o paglia o compost di corteccia per il miglioramento delle condizioni di crescita. Le piante dovranno sporgere per almeno 1/3 della loro lunghezza;
c) vengono formate file alterne di gradonate con ramaglia e gradonate con piantine radicate con le modalità di cui alle varianti a) e b);
d) la messa a dimora della ramaglia viva avviene durante la costruzione a strati dei rilevati (ad esempio stradali, ferroviari o arginali). La ramaglia (10 ÷ 30 rami per 1 m) viene appoggiata sul ciglio del rilevato, può avere lunghezza di 2 m o più e viene ricoperta dallo strato successivo del rilevato. Indipendentemente dalla lunghezza i rami non dovranno sporgere più di 25 cm dal terreno. L'insieme funge anche da terra rinforzata aumentando la stabilità del rilevato;
e) viene utilizzato un rinforzo con una striscia di carta catramata (od altro materiale sintetico) a rivestire orizzontalmente la parte esterna del gradone per circa 30 cm.

Campi di applicazione: utile per la stabilizzazione superficiale di scarpate naturali ed artificiali, di rilevati e accumuli di materiale sciolto, di zone in erosione e frane:

- *gradonate con talee*: sono la tipologia di gradonate più adatte a terreni ripidi, poveri e caratterizzati da movimenti superficiali, perchè consentono un rapido consolidamento del terreno;

- *gradonate con piantine*: generalmente utilizzate su terreni buoni, ricchi di sostanze nutritive, in località climatiche favorevoli. Sono inoltre utili su terreni dove non è necessaria una notevole stabilizzazione del pendio, quanto piuttosto la realizzazione di un soprassuolo arboreo definitivo, senza fasi intermedie con vegetazione pioniera;
- *gradonata mista con talee e piantine*: è la tipologia di gradonata più sicura per la sistemazione di modeste frane superficiali.

Fattibilità:
- *gradonate con talee*: è una sistemazione stabilizzante con un ottimo effetto in profondità; non è adatta a trattenere il terreno vegetale;
- *gradonate con piantine*: forniscono un consolidamento mediocre del terreno, efficace, però immediatamente dopo la messa a dimora; grazie alla radicazione lungo tutto il fusto interrato si ottiene una coesione del terreno più profonda ed estensiva. È fattibile solo su stazioni favorevoli; richiede una notevole quantità di materiale;
- *gradonata mista con talee e piantine*: ha costi più elevati rispetto agli altri tipi di gradonate, ma presenta il vantaggio di un rapido raggiungimento di un'associazione vegetale stabile, costituita sia da specie preparatrici (salici) che da specie definitive (ontani);
- non possono essere utilizzate per scarpate in roccia o con roccia subaffiorante.

Materiali impiegati: talee o ramaglia di salice con L > 100 cm (10 ÷ 20 cm > della profondità dello scavo) e ∅ = 1 ÷ 7 cm. Piantine radicate di latifoglie resistenti (spesso ontano) di h = 100 cm (10 ÷ 20 cm >della profondità dello scavo) e ∅ = 1 ÷ 3 cm.

Modalità di esecuzione:
- lungo le curve di livello vengono scavate delle banchine di profondità compresa tra 50 ÷ 100 cm, con una contropendenza di circa 10°. Alla base della trincea viene disposto un letto di talee a pettine (gradonata con talee), che vengono interrate per 3/4 della loro lunghezza; in alternativa si possono mettere a dimora piantine di 2 ÷ 3 anni (gradonata con piantine) oppure talee e piantine contemporaneamente (*gradonata mista con talee e piantine*);
- i gradoni vengono scavati partendo dal basso in modo che lo scavo della banchina soprastante possa venire utilizzato come rinterro della precedente. Per inclinazioni del pendio di 25° ÷ 30° si consiglia una distanza tra gradoni successivi compresa tra 1 ÷ 1,5 m. mentre per inclinazioni inferiori a 20° si consiglia una distanza tra gradoni successivi compresa tra 2 ÷ 3 m. La distanza reciproca tra i gradoni è inoltre funzione dl grado di umidità del terreno: quanto maggiore è il tasso di umidità, tanto minore sarà l'interasse;
- i gradoni possono venire realizzati secondo le curve di livello o leggermente inclinati a valle in modo da favorire il drenaggio;
- è possibile utilizzare rinforzi longitudinali (carta catramata, biostuoie o materiale sintetico) come previsto dalla variante delle gradonate con talee secondo Rainer: la parte esterna di una trincea artificiale gradonata viene rivestita con carta catramata o altro al fine di ridurre l'erosione superficiale e favorire l'attecchimento delle specie vegetali grazie ad una maggiore ritenuta idrica.

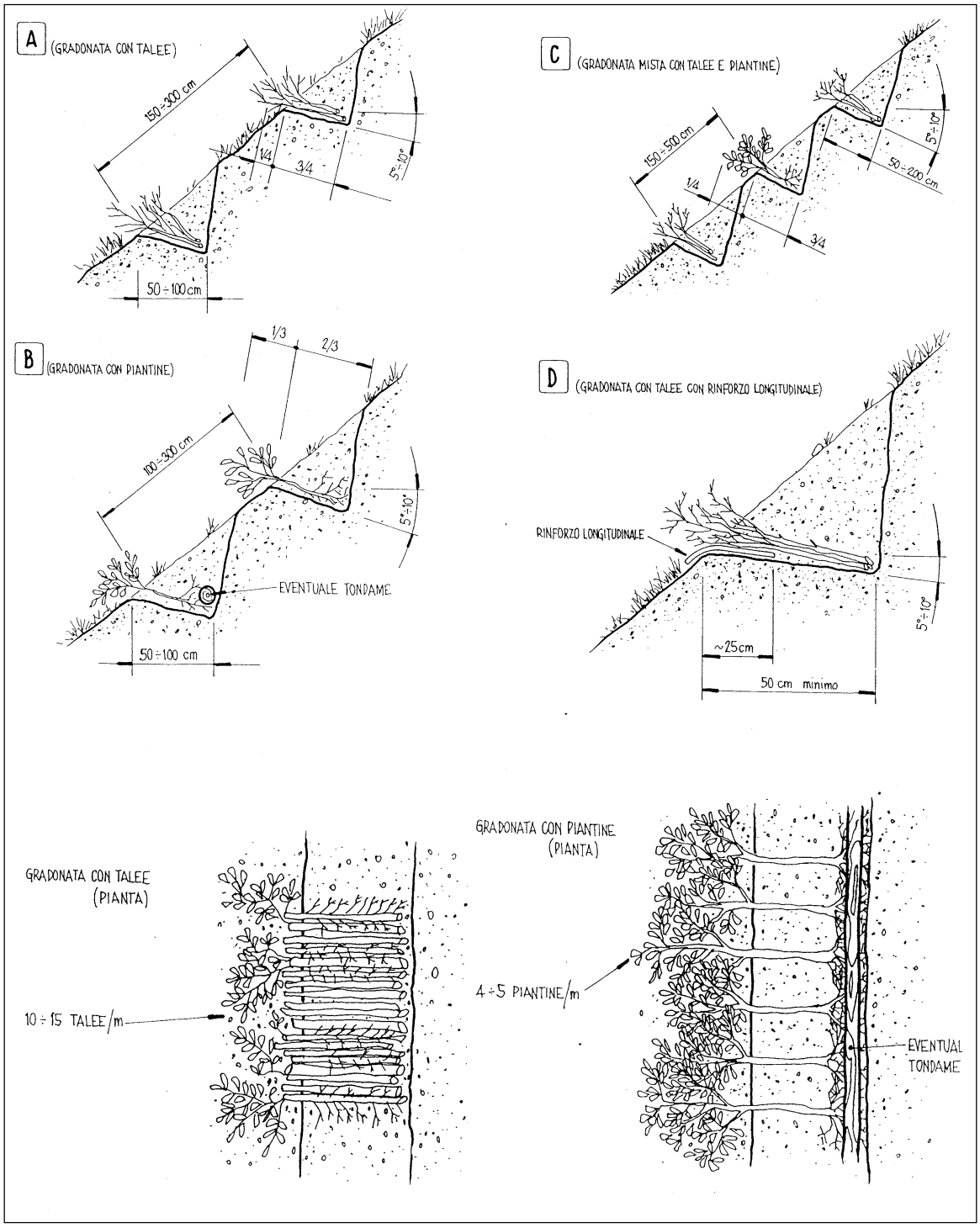
Interventi collegati:
- rimodellamenti delle scarpate;
- controllo dell'erosione con biostuoie, bioreti o geostuoie o altre strutture.

Periodo di intervento: esclusivamente durante il periodo di riposo vegetativo (novembre-marzo).

Tab. 14.33 - *Gradonata viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,20		
Operaio comune	Ora	0,20		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,002		
Ragno meccanico	Ora	0,30		
c) Materiali:				
Talee di salice	cad	10		
Ramagli di conifere	cad	10		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**23,24 ÷ 26,34**
			£/m²	**45.000 ÷ 51.000**

Fig. 14.37 - *Gradonata viva*



Vantaggi:
- esecuzione semplice e rapida;
- consolidamento in profondità;
- diminuisce la velocità di deflusso delle acque di ruscellamento, riducendo i movimenti franosi.

Svantaggi:
- richidono abbondante materiale vivo;
- se impiegate latifoglie, la crescita è lenta;
- se impiegata ramaglia, non è adatta a trattenere il terreno vegetale.

Manutenzione e durata dell'opera:
- *gradonata con talee*: taglio dei cespi eseguito a livello del terreno ogni 3 ÷ 5;
- *gradonate con piantine*: sono utili sfollo e taglio;
- *gradonate miste con talee e piantine*: possono venire utilizzate per ricavare delle talee di salice per ulteriori interventi. Anche se i salici non vengono riutilizzati, è conveniente tagliarli fino a livello del terreno al fine di favorire la crescita delle essenze legnose più pregiate.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.33**.

14.3 Interventi combinati di consolidamento

14.3.1 Grata viva

Descrizione sintetica: la grata viva è un'opera realizzata con pali in legname, disposti tra loro perpendicolarmente, e successiva messa a dimora di talee e/o piantine radicate. È utilizzata per il consolidamento di versanti o sponde acclivi con substrato compatto e per la stabilizzazione di pendii con fenomeni di erosione superficiale dove, per l'elevata acclività, non è possibile applicare altre tecniche d'ingegneria naturalistica.
La grata viva agisce quindi come sostegno del terreno fino a che non si sono sviluppati gli elementi costruttivi vivi che, con lo sviluppo degli apparati radicali producono un effetto consolidante (**figg. 14.38a-14.40**).

Descrizione da voce di capitolato:
a) semplice;
b) doppia.
Sostegno di scarpate e versanti in erosione molto ripidi con substrato compatto (che non deve essere smosso) con grata in tondame di larice, altra resinosa o castagno di ∅ 20 ÷ 40 cm e lunghezza 2 ÷ 5 m, fondata su un solco in terreno stabile o previa collocazione di un tronco longitudinale di base, con gli elementi verticali distanti 1 ÷ 2 m e quelli orizzontali, chiodati ai primi, distanti da 0,40 m a 1 m a seconda dell'inclinazione del pendio (in genere si lavora su pendenze di 45° ÷ 55°); fissaggio della grata al substrato mediante picchetti di legno di ∅ 8 ÷ 10 cm e lunghezza 1 m, o di ferro di dimensioni idonee per sostenere la struttura; riempimento con inerte terroso locale alternato a talee e ramaglia disposta a strati, in appoggio alle aste orizzontali con eventuale supporto di una griglia metallica per un miglior trattenimento del terreno. L'intera superficie verrà anche seminata e in genere piantata con arbusti autoctoni.
La grata può essere semplice (*variante a*) o doppia (*variante b*) a seconda della profondità e forma dello scoscendimento. La radicazione delle piante si sostituirà nel tempo alla funzione di consolidamento della struttura in legname. L'altezza massima possibile per le grate vive non supera in genere i 15 ÷ 20 m.

Campi di applicazione: può essere utilizzata su sponde e su versanti che presentano acclività anche superiori a 45° ÷ 50° su nicchie di frana dove sono possibili solo modesti rimodellamenti e su scarpate stradali o ferroviarie molto ripide.

Fattibilità: l'altezza massima che si può raggiungere con questo tipo di intervento è di 15 ÷ 20 m. È possibile operare su fronti con altezza maggiore qualora sia realizzabile una gradonatura intermedia. In presenza di venute d'acqua bisogna realizzare dei drenaggi con materiale granulare ed eventuali tubi fessurati per allontanare le acque captate.

Materiali impiegati: la grata viva viene realizzata mediante l'impiego di:
- tondame in legno scortecciato (castagno, robinia, larice o altro legname con buone caratteristiche di resistenza) con ∅ = 15 ÷ 30 cm e L = 2 ÷ 5 m, per la realizzazione dell'impalcatura principale;
- picchetti in legno con ∅ = 8 ÷ 12 cm e L > 1 m o tondini in ferro di dimensioni idonee a sostenere la struttura;
- chiodi (tondini di ferro acciaioso aderenza migliorata);
- talee, ramaglia e/o piantine di specie arbustive con buon radicamento;
- eventuale rete metallica per meglio trattenere il materiale di riempimento;
- palificata spondale in legno al piede.

Modalità di esecuzione:
- realizzazione del piano di appoggio che può essere costituito da un piano in leggera contropendenza dove viene realizzata una eventuale palificata in legname, quando esiste una reale possibilità di scalzamento al piede;
- sul tondame della palificata vengono fissati (con chiodi) perpendicolarmente elementi reticolari distanti 80 ÷ 150 cm che vengono resi solidali al terreno con picchetti in legno o ferro; successivamente, al tondame così ancorato, viene fissato trasversalmente altro tondame, in modo da formare delle maglie quadrate o rettangolari (a seconda degli interassi che si scelgono, indicativamente 80 ÷ 150 cm);
- riempimento della grata mediante materiale terroso e inerte alternato a talee e ramaglia disposta a strati, ed eventuali piantine, in corrispondenza del tondame trasversale;
- eventuale inerbimento dell'intera superficie;
- è opportuno posare una rete metallica, biostuoia o geojuta per trattenere il terreno riportato;
- per proteggere la testata della grata da eventuali fenomeni di erosione, si può rivestire la testa posando e ancorando una striscia di biostuoie o materiale sintetico, al di sopra della quale può essere inserita una fila di talee; in alternativa può essere realizzata una canaletta di sgrondo.

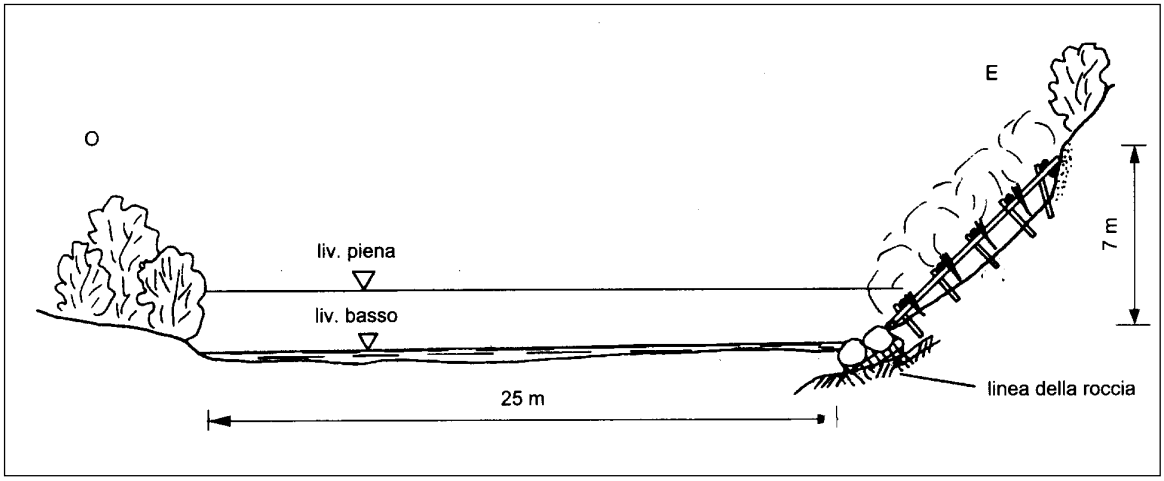
Interventi collegati: opere di consolidamento di versante.

Prescrizioni:
- l'interasse degli elementi orizzontali varia a seconda della pendenza del versante;
- le altezze massime delle grate vive non superano i 15 ÷ 20 m;
- le talee dovranno avere una lunghezza tale da raggiungere il terreno retrostante la grata;
- a protezione dei fronti con pendenze elevate e come metodo di contenimento del mate-

Tab. 14.34 - *Grata viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,80		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,10		
Pala meccanica	Ora	0,50		
Motosega a catena	Ora	0,08		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
c) Materiali:				
Legname scortecciato	m^3	0,25		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	3		
Rete elettrosaldata	Kg	1		
Talee di salice	cad	20		
Arbusti	cad	1		
Idrosemina	m^2	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**83,67 ÷ 88,83**
			£/m^2	**162.000 ÷ 172.000**

Fig. 14.38a - *Grata viva*



riale può essere posta una griglia metallica o una rete metallica a doppia torsione;
- una grata di piccole dimensioni può essere eseguita anche con l'impiego di astoni vivi.

Limiti di applicabilità: dimensioni ed inclinazione della sponda in erosione.

Vantaggi:
- immediata stabilizzazione della sponda;
- l'effetto di stabilizzazione aumenta una volta che le specie vegetali inserite hanno cominciato a radicare;
- le specie vegetali svolgono anche un'azione drenante in quanto assorbono l'acqua necessaria al loro sviluppo;
- intervento efficace in luoghi ristretti, dove risulta difficile effettuare rimodellamenti.

Svantaggi:
- realizzazione lunga e costosa;
- con il tempo il legname marcisce;
- non è idonea su versanti con rocce affioranti.

Periodo di intervento: le talee e le piantine radicate vanno posate durante il riposo vegetativo, le semine vanno invece eseguite durante il periodo vegetativo.

Manutenzione e durata dell'opera: l'opera, se ben realizzata, non necessita di particolari manutenzioni, se non la sostituzione delle talee o delle piantine che non hanno attecchito.

Possibili errori: scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.34**.

Fig. 14.38b - *Grata viva*

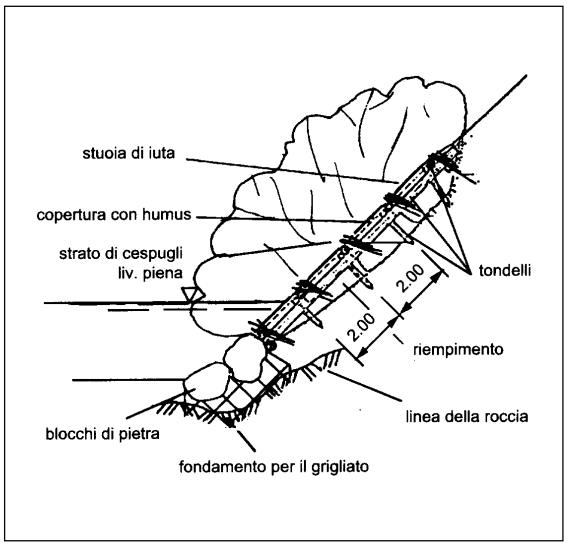
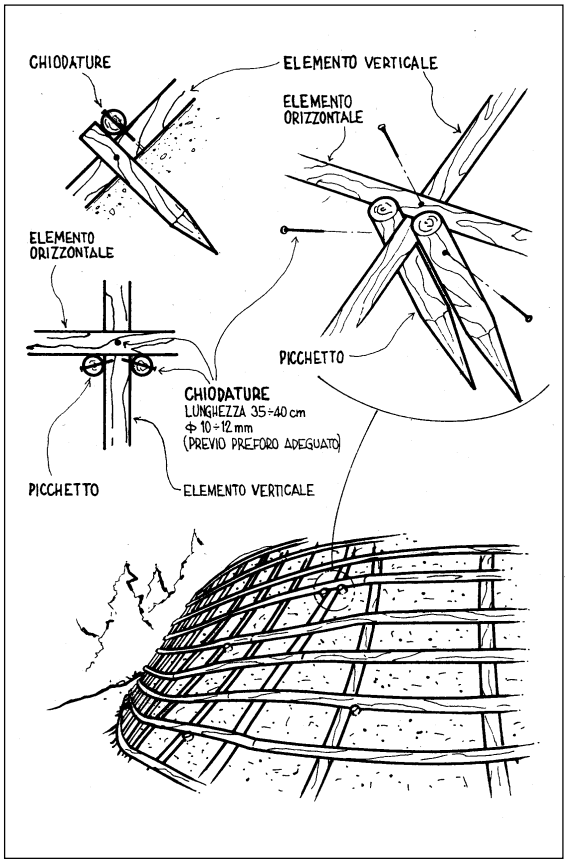


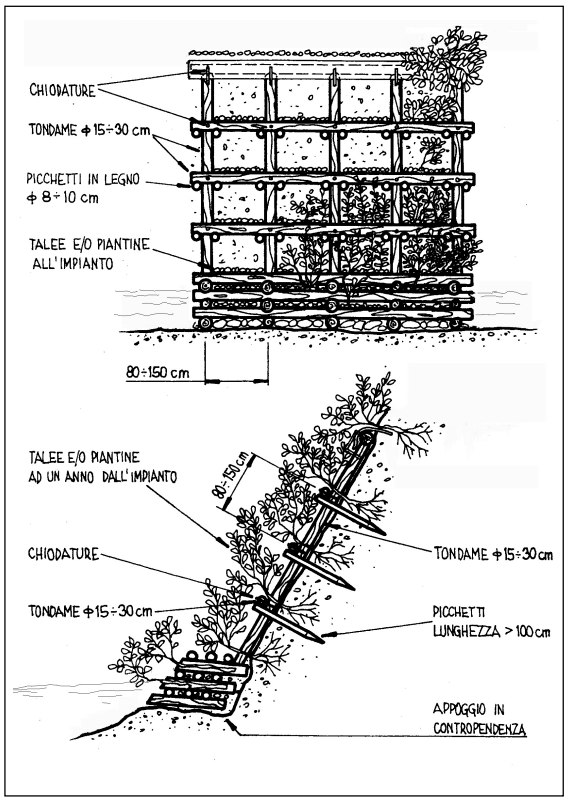
Fig. 14.40 - *Grata viva*



14.3.2 Palificata viva spondale con palo verticale frontale

Descrizione: struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere frontali nelle quali vengono inserite fascine.
Frontalmente è presente un palo verticale sul quale sono chiodati i tronchi correnti e quelli trasversi.

Fig. 14.39 - *Grata viva*



L'opera, addossata alla sponda in erosione, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte e pietrame nella parte sotto il livello medio dell'acqua (**fig. 14.41**).

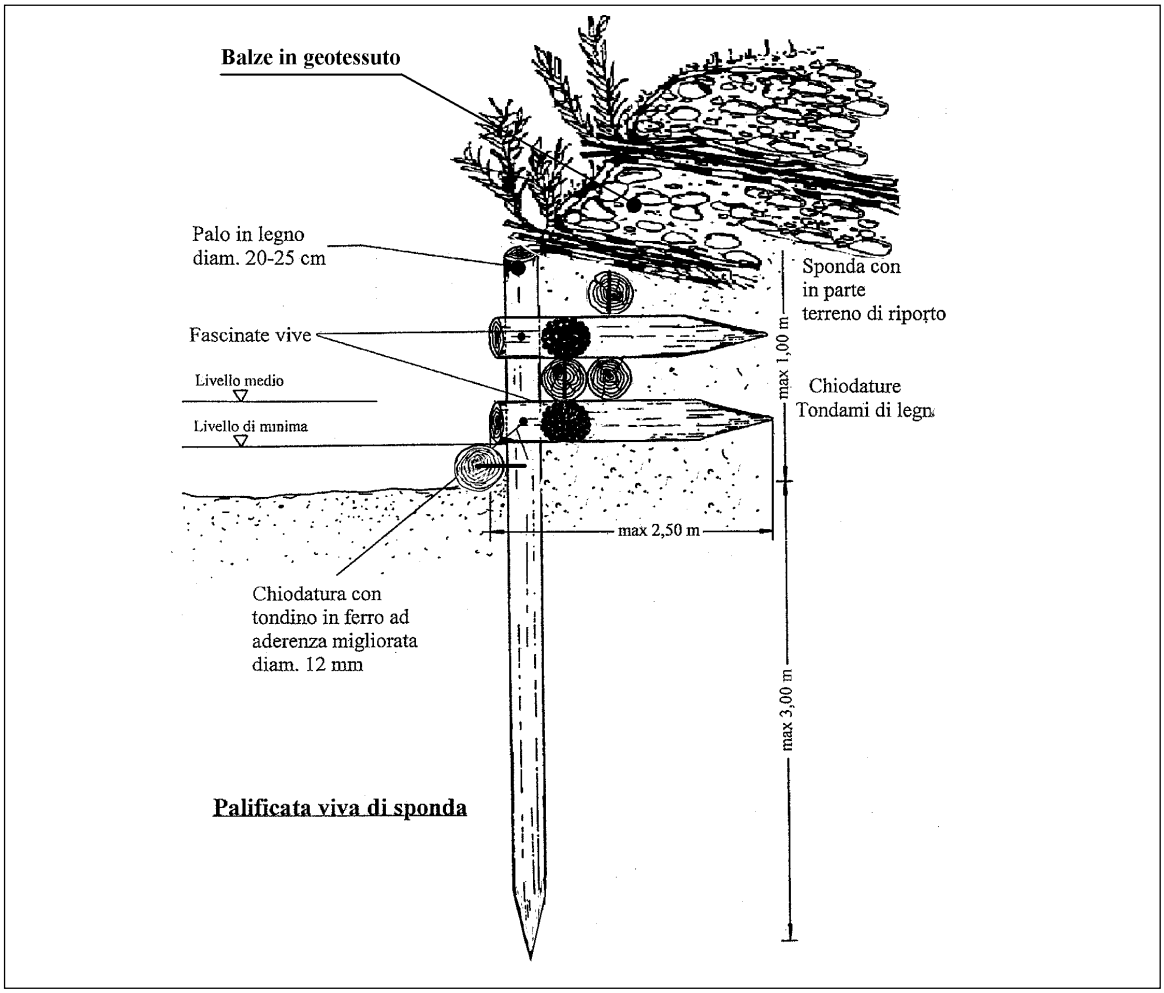
Campi di applicazione: sponde fluviali soggette ad erosione.

Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

Materiali impiegati:
- tronchi e pali di resinosa o castagno scortecciati ∅ 20 ÷ 30 cm;
- chiodature metalliche e cambre ∅ 12 ÷ 14 mm;
- fascine vive di salice ∅ 20 ÷ 30 cm;
- fascine morte ∅ 25 ÷ 30 cm;
- terreno di riempimento;
- pietrame.

Modalità di esecuzione:
1. infissione verticale di pali con punta, per almeno 2/3 della loro lunghezza, in prossimità della sponda erosa con interasse di 2 m seguendo lo sviluppo originario della linea di sponda;
2. posa della prima serie di tronchi orizzontali parallelamente alla linea di sponda, retrostanti la fila di pali verticali ed inchiodati ad essi;
3. posa e chiodatura della prima serie di pali con punta perpendicolarmente alla sponda al di sopra della serie di tronchi orizzontali;

Fig. 14.41 - *Palificata viva spondale con balze in geotessuto*



Tab. 14.35 - *Palificata viva spondale con palo verticale frontale: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,7		
Operaio comune	Ora	1,4		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,30		
Ragno meccanico	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
Compressore con pistola	Ora	0,30		
c) Materiali:				
Legname scortecciato	m^3	0,3		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	4		
Puntale di ferro	cad	1		
Palo frontale	m^3	0,09		
Talee di salice	cad	15		
Pietrame di riempimento	m^3	1		
Fascine cieve di salice	cad	1		
Cambre	Kg	0,5		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**83,67 ÷ 88,83**
			£/m^2	**162.000 ÷ 172.000**

4. inserimento di fascine morte nelle camere frontali al di sotto del livello medio dell'acqua e riempimento con pietrame;
5. inserimento di fascine vive di salice nelle camere frontali al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte terroso;
6. ripetizione delle operazioni 2, 3, 5 fino al raggiungimento dell'altezza di progetto;
7. riporto di materiale inerte fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

Prescrizioni:
- la lunghezza dei pali verticali non deve essere inferiore ai 3 m;
- i pali disposti perpendicolarmente alla sponda devono attestarsi nella stessa;
- come rinforzo della punta in legno dei pali verticali è consigliabile il rivestimento con puntale in ferro.

Vantaggi: rapido consolidamento della sponda.

Svantaggi:
- altezza limitata;
- tempi di realizzazione lunghi.

Effetto: una volta cresciute, le piante esercitano un effetto drenante e di consolidamento della sponda attraverso il fitto intreccio di radici.

Periodo di intervento: periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori:
- scelta errata per la posa di materiale vegetale vivo;
- insufficiente o inadeguato inserimento di fascine e conseguente svuotamento della struttura.

Note: la prima fila di pali può essere messa esterna per ridurre la pendenza finale del paramento esterno che, altrimenti, risulta praticamente verticale impedendo la crescita delle fascine delle ramerie inferiori, in quanto adombrate da quelle superiori.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.35**.

14.3.3 Palificata viva spondale ad una ed a due pareti

Descrizione dell'opera: manufatto a gravità formato da una struttura cellulare in pali di legno abbinato alla posa di piante. Il deterioramento (marcescenza) del legname, in alcuni decenni, presuppone che i parametri di stabilità del manufatto vengano riferiti ad un paramento esterno assimilabile ad una pendice ben vegetata e ad un terreno con buone caratteristiche di attrito. In presenza di adeguata manutenzione (taglio periodico delle piante al fine di impedire l'appesantimento delle ceppaie) si possono raggiungere accettabili stabilità per pendenze del paramento esterno dell'ordine di 60° (**fig. 14.42-14.45**).

Descrizione da voce di capitolato: consolidamento di sponde subverticali mediante tondami di resinosa o di castagno di ∅ 20 ÷ 30 cm e di almeno 3 m di lunghezza, infissi verticalmente per almeno 2/3 e addossati alla sponda stessa, dietro i quali vengono collocati tronchi orizzontali paralleli alla sponda alternati ad altri tronchi di minimo 1 m di lunghezza inseriti nella sponda in senso trasversale. I singoli tondami vengono fissati l'uno all'altro con chiodi in tondino ∅ 14 mm. Gli interstizi tra i tondami longitudinali vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'acqua. Negli interstizi sovrastanti, vengono inserite fascine di salice leggermente ricoperte di terreno per assicurare la radicazione dei rami di salice. Dai salici si sviluppa una vegetazione arbustiva riparia con funzione naturalistica e nel tempo anche statica mediante la radicazione che va a sostituirsi al tondame destinato a marcire. La struttura si presta anche alla creazione di tane per ittiofauna ricavando delle nicchie nella parte sommersa sostenute da legname al posto del pietrame di riempimento.

Campi di applicazione:
consolidamento, ricostruzione di sponda, soggette ad erosione. La variante ad una parete è preferibile in situazioni di spazio limitato.

Limiti di fattibilità:
velocità della corrente superiori a 4 m/s.

Materiali impiegati:
- tondame di specie a legno durabile (robinia, castagno) di diametro almeno 20 cm;
- pioli, tondini in metallo ad aderenza migliorata ∅ 12 ÷ 14 mm;
- talee e piantine di latifoglie ∅ 20 ÷ 30 cm;
- pietrame;
- Inerte terroso.

Grado di reperibilità: per tutti i materiali una buona reperibilità. Per quanto riguarda il legname si puntualizza come in particolari condizioni, ovvero operando all'interno o in prossimità di zone a bosco, possa risultare economico l'utilizzo di legno proveniente da tagli e diradamenti, potendo utilizzare per la costruzione delle palificate anche legname con caratteristiche tecnologiche (cipollatura, legno di torsione, ecc.) non altrimenti utilizzabile se non come legna da ardere. Il materiale vegetale da utilizzarsi è facilmente reperibile presso i vivai pubblici e privati, fanno eccezione alcune specie arbustive.

Modalità di esecuzione:
- montaggio legname:
  - il piano di posa va realizzato con una contropendenza verso monte stabilita in sede di calcolo di stabilità (5° ÷ 15°); il tipo di manufatto si presta alla posa anche su

piani non complanari nel senso dello sviluppo in lunghezza;
- si procede alla posa della prima fila di legname in senso parallelo alla pendice, curando il posizionamento in bolla, durante la posa del tondame si realizzano i collegamenti tra un legno ed il successivo realizzando gli incastri ed i fissaggi con il tondino i ferro;
- il montaggio prosegue con la posa del successivo ordine di tondame da posizionarsi in senso ortogonale alla prima fila ed alla pendice: questi legni avranno lunghezza variabile desunta dai calcoli progettuali ed in considerazione delle caratteristiche biotecniche e del terreno (capacità di approfondimento dell'apparato radicale) e variabile da 1,5 a 3 m. Si procede quindi al fissaggio dei legni con la fila sottostante sempre tramite tondino in ferro. Nella variante ad una parete, i pali con punta perpendicolare alla sponda al disopra del tronco orizzontale, vengono inseriti nel terreno a spinta mediante escavatore;
- per quanto riguarda la realizzazione del fissaggio con il tondino si può rilevare come vada curata la completa perforazione dei due tronchi da fissare e si debba quindi disporre di punte da legno di adeguata lunghezza (doppia del diametro dei tronchi), almeno 40 cm: la foratura parziale può originare fessurazioni e rotture del legno al momento dell'inserimento forzato del tondino con colpi di mazza;
- nel procedere alla realizzazione dei piani successivi si segue lo schema descritto, con l'avvertenza di posizionare i legni longitudinali alla pendice sempre in posizione arretrata rispetto al sottostante ordine di legni longitudinali e, ciò, per conferire al manufatto la pendenza del paramento scelta in sede progettuale;
- eventuali variazioni di pendenza del paramento possono essere ottenute rinunciando alla posa del legno longitudinale sul retro del manufatto e realizzando il fissaggio a carico dell'ordine di legno longitudinale sottostante;

• riempimento struttura e posa materiale vegetale:
- dopo aver realizzato il montaggio di 1 o 2 ordini di tondame, occorre procedere al riempimento della struttura cellulare con inerti e terreno ed alla posa delle talee e delle piantine;
- il terreno posato negli spazi voti tra i pali va opportunamente compattato e si procede quindi alla posa delle talee in posizione coricata ovvero delle piantine sempre in posizione coricata ovvero delle piantine sul fronte a vista in posizione eretta;
- le talee posate dovranno avere una lunghezza pari alla profondità della palificata (1,5 ÷ 3 m) onde consentire una radicazione profonda, ed è sufficiente che emergano fuori terra per 10 ÷ 30 cm;
- le talee o le piantine radicate vengono posate in ragione di una ogni 10 ÷ 15 cm di fronte per ogni ordine di tondame longitudinale ovvero per circa 20 ÷ 30 talee/piantine per ogni m² di paramento esterno della palificata;

• palificata a una parete:
- la palificata ad una parete viene montata con le stesse modalità previste per il tipo a due pareti ma rinunciando alla posa del tondame longitudinale posizionato sul retro della struttura;
- in particolare si realizza questa tipologia in presenza di spazi limitati per quanto attiene le possibilità di realizzare strutture profonde ovvero per scelta progettuale che ritenga sufficiente la realizzazione di un manufatto leggero con prevalenza della funzione di rivestimento rispetto a quella di sostegno;
- la posa dei legni ortogonali alla sponda, nella costruzione della palificata ad una parete può essere realizzata con l'ausilio di una trivella, manuale o portata sul retro di una trattrice con punta da 15 ÷ 20 cm, che realizzi il foro nel fronte terroso solido. Tale modalità consente di contenere al minimo i movimenti di terra ma soprattutto assicura il mantenimento della solidità di quella porzione di pendice non ancora oggetto di scoscendimento;
- in questa modalità costruttiva è importante battere i pali nel foro realizzato con la trivella dopo averli opportunamente appuntiti.

Parametri e modalità di calcolo:
la palificata deve essere calcolata come manufatto a gravità tenendo presente come il volume occupato dal legname è pari a circa il 15 ÷ 20% del volume totale del manufatto.

Prescrizioni:
• qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio ∅ 16 mm e pilotis metallici L = 2 m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
• le talee dovranno avere una lunghezza tale da passare l'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;
• il fronte della palificata dovrà avere una pendenza inferiore a 60° per consentire la crescita delle piante;
• i tronchi trasversi andranno disposti alternati per garantire una maggiore elasticità e resistenza della palificata stessa;
• sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

Limiti di impiego e scelta delle specie vegetali: è conveniente utilizzare abbondante materiale vegetale vivo (talee, astoni, ramaglia), da

Fig. 14.42 - *Palificata spondale a due pareti*

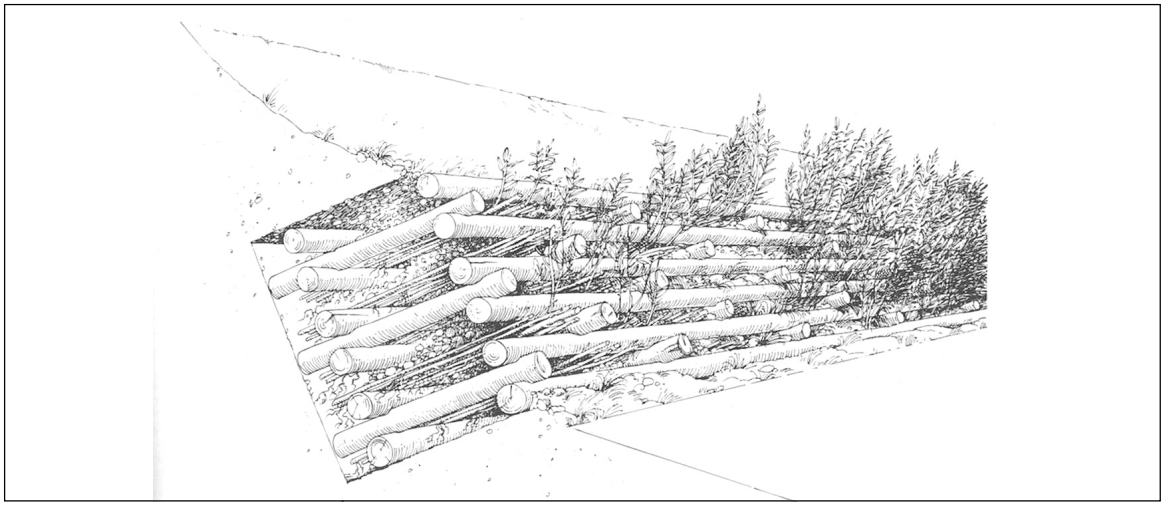


Fig. 14.43 - *Palificata viva con iniziale sviluppo vegetativo*

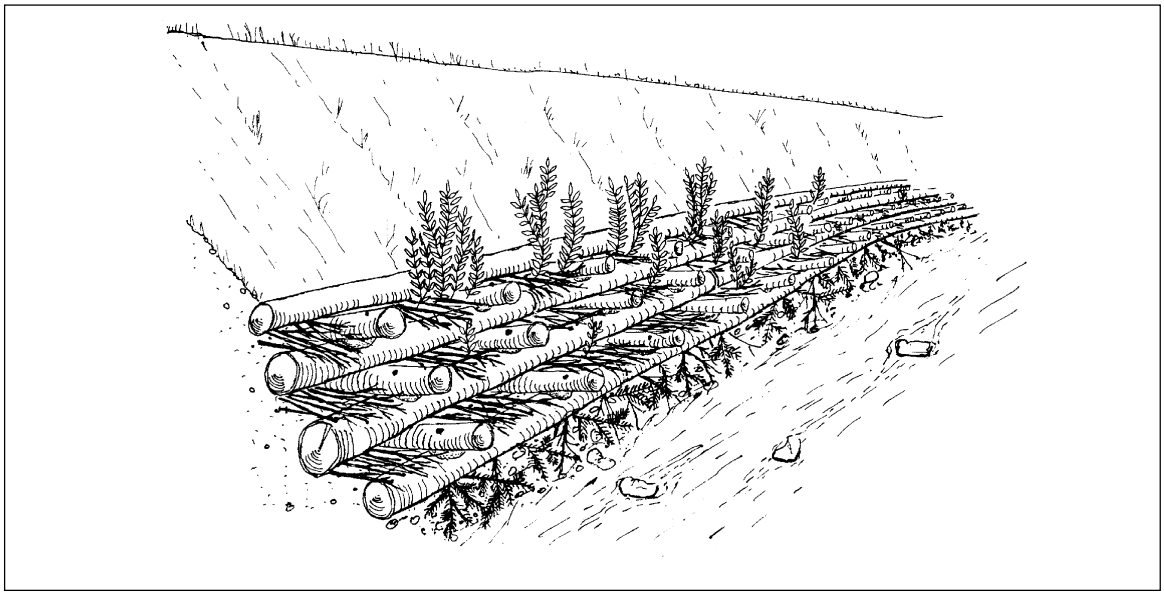


Fig. 14.44 - *Sezione di una palificata spondale livellata*

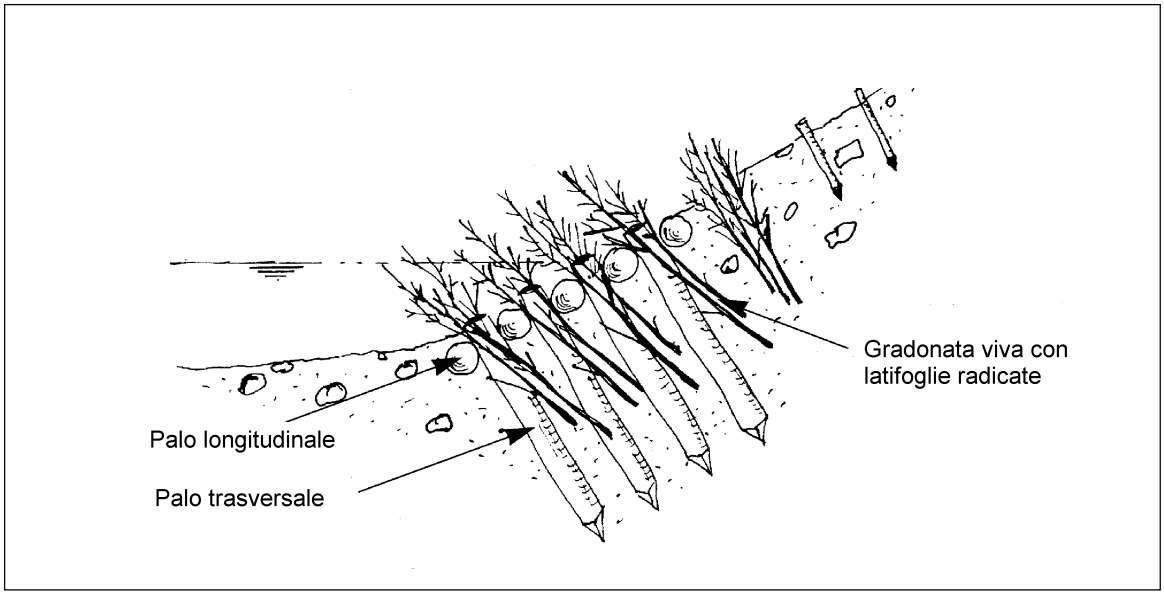
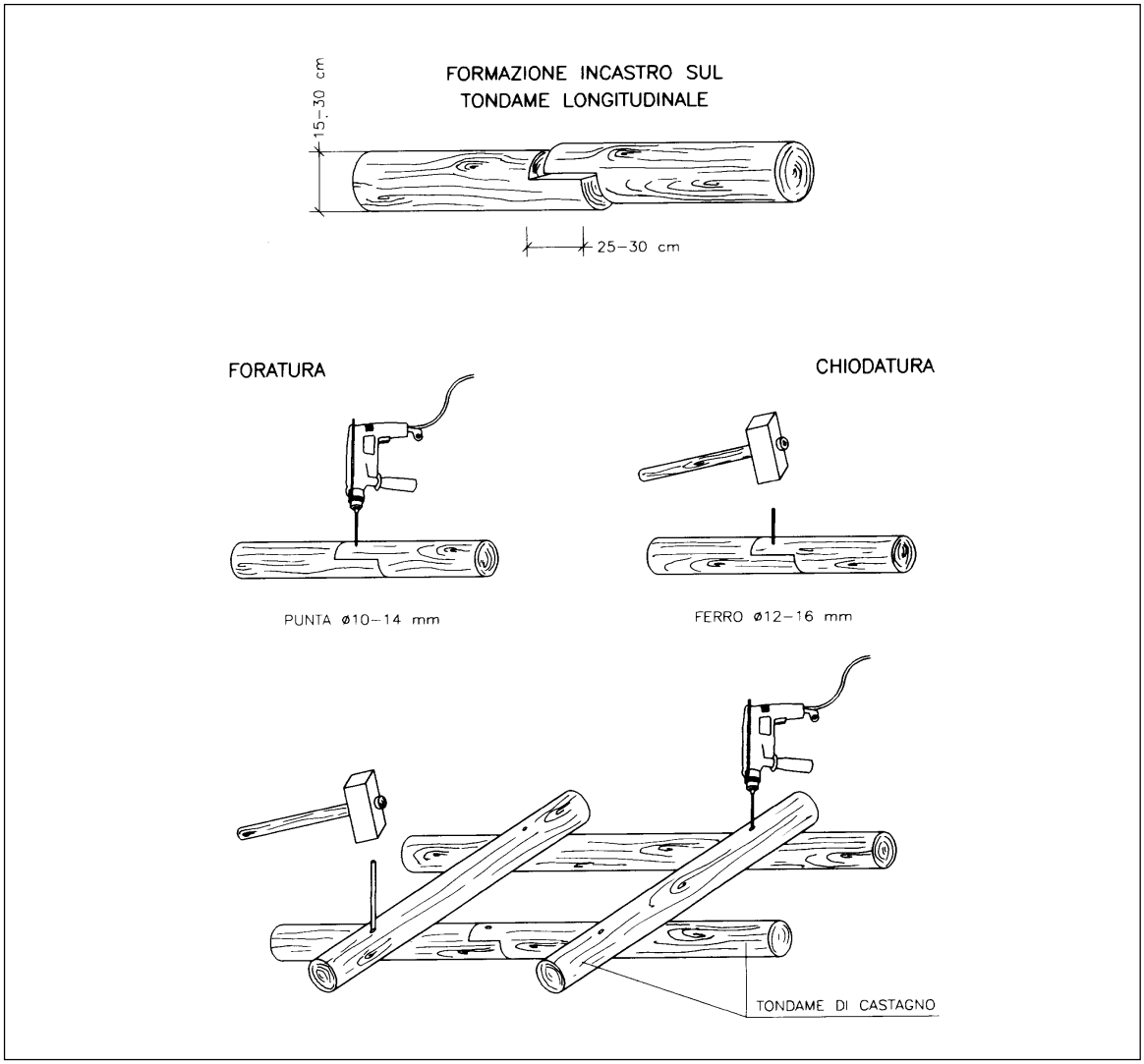


Fig. 14.45 - *Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: formazione della struttura*



Tab. 14.36 - *Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,70		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,10		
Escavatore	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
c) Materiali:				
Legname scortecciato	m^3	0,25		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Fascine vive di salice	m	1,5		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**123,95 ÷ 139,44**
			£/m^2	**240.000 ÷ 270.000**

reperire prevalentemente in alveo. È quindi opportuno realizzare palificate spondali soprattutto in abbinamento a tagli della vegetazione riparia.

Vantaggi: rapido consolidamento della sponda.

Svantaggi:
- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

Effetto: il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura a camere sovrapposte funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori:
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità propagativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

Note: la scortecciatura dei pali aumenta la durabilità del legname.
Da curare il posizionamento della palificata ad almeno 0,5 ÷ 1 m al di sotto del fondo ovvero realizzare la struttura appoggiata al di sopra di una base in massi.
La gestione di un lavoro con tondame di diametro 30 ÷ 40 cm, preferibile dal punto di vista costruttivo, presenta la necessità di disporre di un escavatore per la movimentazione dei tronchi.
La costruzione con tondame di diametro massimo 20 cm può presupporre la realizzazione di un cantiere con mezzi manuali.
A mente delle attuali normative sulla sicurezza del lavoro la movimentazione manuale deve essere limitata a tondame, gestito da due operatori, di peso unitario non superiore a 40 kg (donne) o 60 kg (uomini).
Un accorgimento della palificata viva a doppia parete è quello di conficcare i pali ortogonali rispetto alla corrente (montanti) dopo averli predisposti con punta nella sponda, per contrastare la "spinta di Archimede". Eventualmente si può appesantire la struttura riempiendola, nei primi strati con sassi.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.36**.

14.3.4 Palificata viva di sostegno

Descrizione sintetica: manufatto in legname costituito da una struttura a celle, formate da pali di legno disposti perpendicolarmente, con posa di piante o talee. In pochi anni lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione crea un'armatura nel terreno, con effetto stabilizzante. Si realizzano palificate a parete semplice, a parete doppia e spondali (**figg. 14.46-14.49**).

Descrizione da voce di capitolato:
- a parete semplice;
- a parete doppia;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi con palificata in tondami di larice o castagno ∅ 20 ÷ 30 cm posti alternativamente in senso longitudinale ed in senso trasversale (l = 1,50 ÷ 2,00 m) a formare un castello in legname e fissati tra di loro con chiodi in ferro o tondini ∅ 14 mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del 10 ÷ 15% verso monte ed il fronte avrà anche una pendenza del 30% ÷ 50% per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; l'intera struttura verrà riempita con l'inerte ricavato dallo scavo e negli interstizi tra i tondami orizzontali verranno collocate talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa nonché piante radicate di specie arbustive pioniere. Rami e piante dovranno sporgere per 0,10 ÷ 0,25 m dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. Gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'argine:
- *a parete semplice*: una sola fila orizzontale esterna di tronchi e gli elementi più corti perpendicolari al pendio sono appuntiti ed inseriti nel pendio stesso;
- *a parete doppia*: fila di tronchi longitudinali sia all'esterno che all'interno. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di 1,5 ÷ 2m;
- *di difesa spondale*: una fila di massi posti al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune di acciaio di ∅ 16 mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4 della lunghezza.

Campi di applicazione: stabilizzazione di parti di versante, piede di pendio e difesa spondale. Si tratta di opere deformabili e permeabili, che si adattano bene ad interventi su pendii instabili.

Fattibilità: semplice realizzazione e rapido consolidamento dell'area interessata. L'effetto stabilizzante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale. L'altezza di una palificata a parete, semplice è in genere modesta (1÷1,5 m); per altezze maggiori si usano palificate a parete doppia. Queste ultime, se costituiscono ope-

re con funzione permanente non devono superare i 2 ÷ 2,5 m di altezza, poiché la capacità consolidante delle piante si limita a 2 ÷ 3 m di profondità. Nei calcoli di stabilità la palificata deve essere considerata come manufatto a gravità, costituito per il 15 ÷ 20% del volume da legname.

Materiali impiegati:
- tondame scortecciato (larice o castagno), avente ∅ = 20 ÷ 30 cm e lunghezza > 1,5 ÷ 2 m;
- chiodi in ferro o tondini in ferro con ∅ 10 ÷ 14 mm;
- filo di ferro zincato: ∅ = 3 mm;

Fig. 14.46 - *Palificata viva di sostegno*

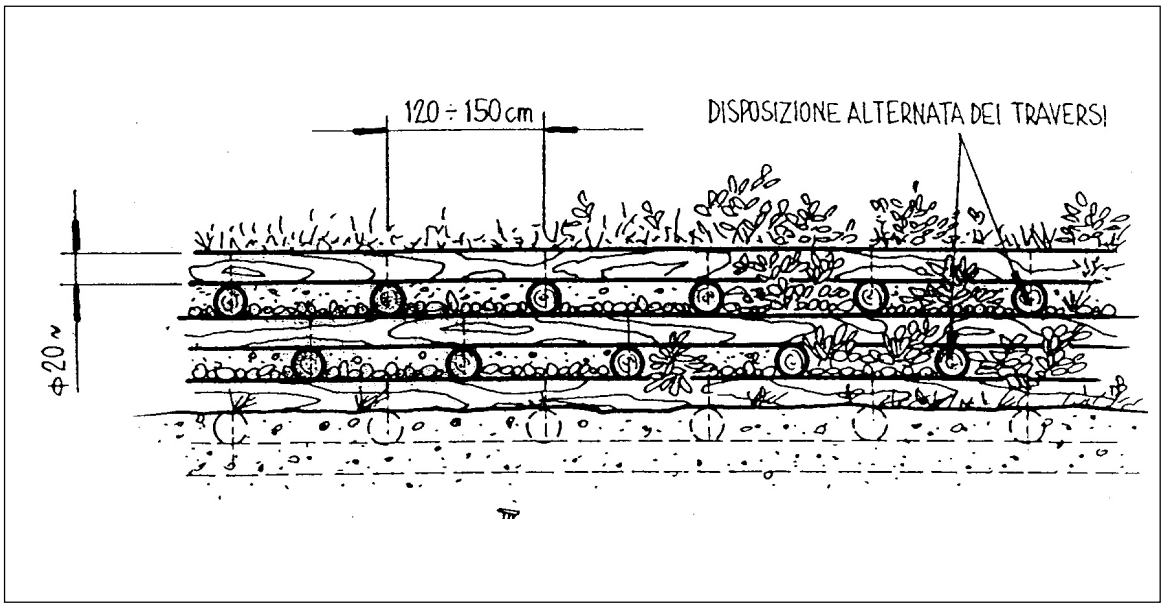


Fig. 14.47 - *Palificata viva di sostegno*

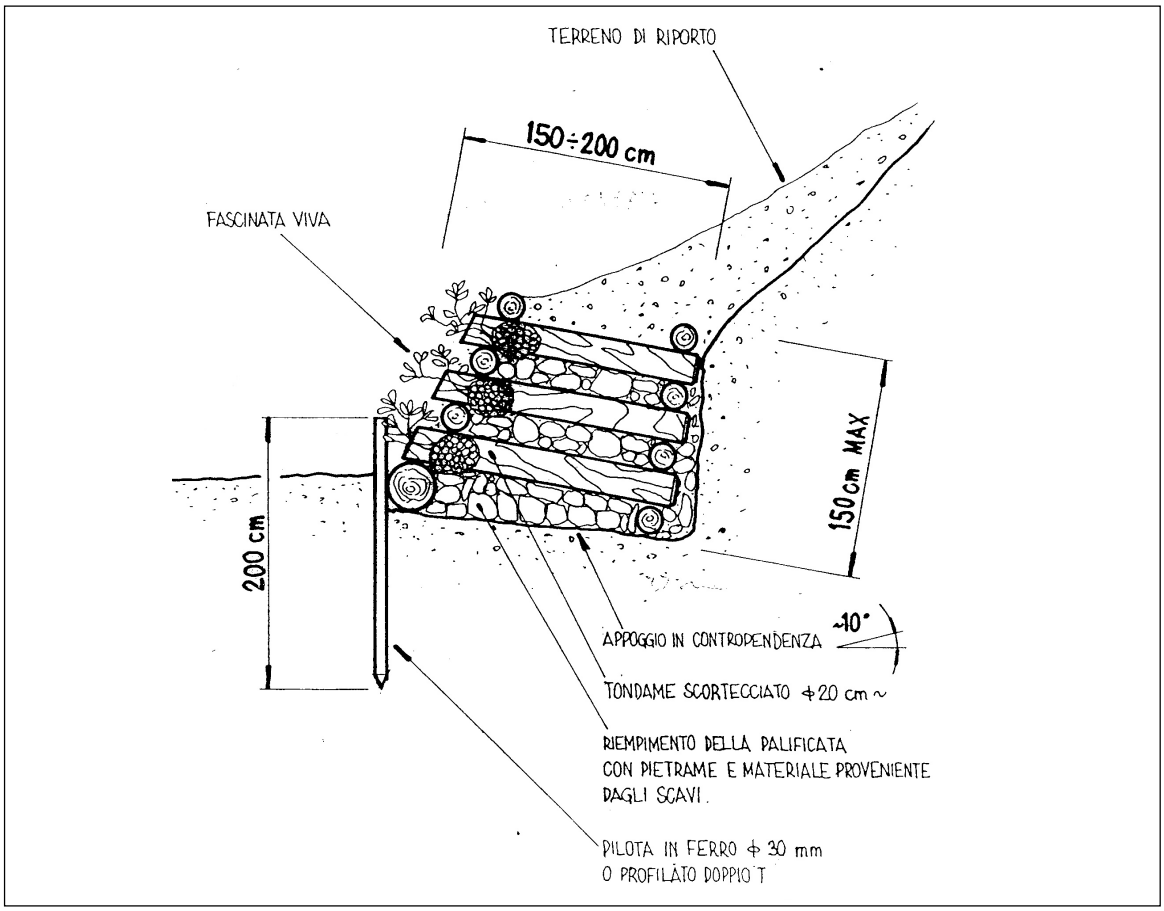


Fig. 14.48 - *Palificata viva di sostegno: dettaglio*

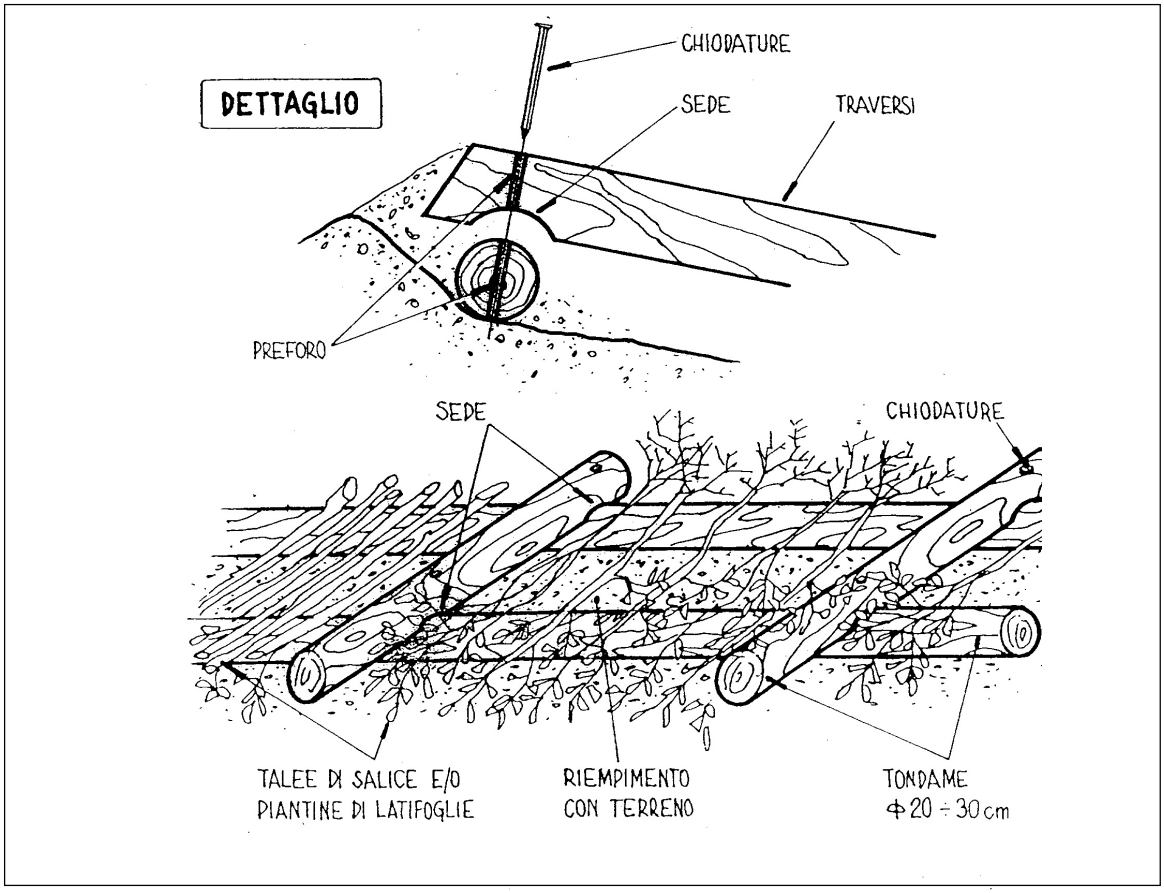
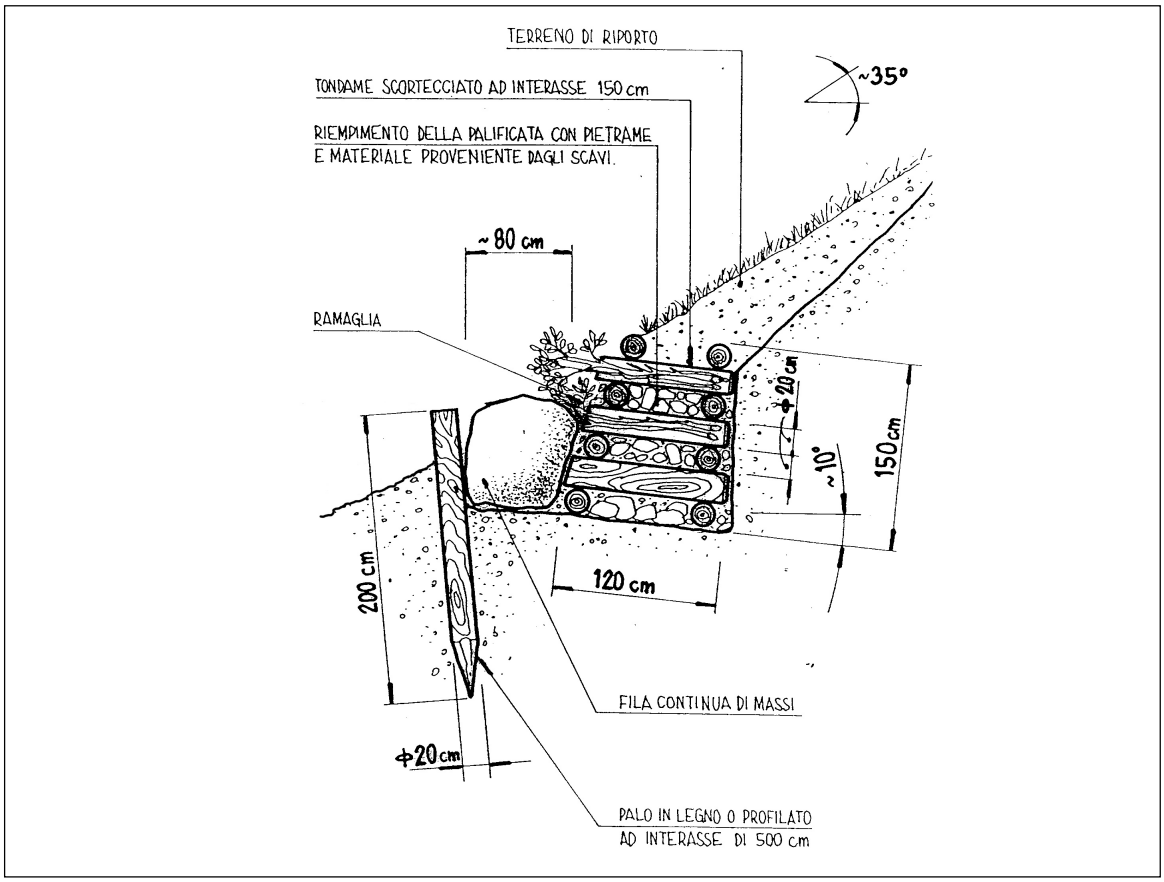


Fig. 14.49 - *Palificata viva di sostegno*



Tab. 14.37 - *Palificata viva di sostegno: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,60		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,70		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
c) Materiali:				
Legname scortecciato	m^3	0,4		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Talee di salice	cad	20		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**113,62 ÷ 129,11**
			£/m^2	**220.000 ÷ 250.000**

- talee o piantine di specie legnose, dotate di buona capacità vegetativa, con lunghezza di 25 cm maggiore rispetto alla profondità della palificata fino ad arrivare al terreno naturale;
- ramaglie di salice: lunghezza 30 ÷ 40 cm > della profondità dell'opera;
- stuoie e georeti in materiale biodegradabile (paglia-legno, juta, fibra di cocco, ecc.).

Modalità di esecuzione:
- si realizza dapprima il piano di posa, a reggipoggio con inclinazione di circa 10° ÷ 15° verso monte;
- si posa quindi la prima fila di legname parallelamente al pendio (corrente), controllandone il posizionamento in bolla e realizzando gli appoggi e i fissaggi con tondini in ferro tra legni successivi;
- si posa in seguito la seconda fila di tondame in senso ortogonale alla prima (traverso), fissandola alla sottostante tramite tondini in ferro. Nel caso della palificata a parete semplice si mette in opera una sola fila orizzontale esterna di "correnti" ed i "traversi" sono appuntiti ed infissi nel pendio; nel caso della palificata a parete doppia si posano due file di "correnti", all'interno ed all'esterno dello scavo, mentre i "traversi" sono privi di punta;
- va sottolineato che per operare un fissaggio corretto con i tondini in ferro bisogna perforare completamente i due tronchi da fissare; la foratura parziale può, infatti, provocare rotture o fessurazioni dei legno stesso;
- gli strati successivi di legname vengono messi in posto ripetendo lo schema su descritto, posizionando però i diversi ordini di correnti in posizione più arretrata rispetto al sottostante, in modo da conferire al fronte un'inclinazione di 20° ÷ 30° per garantire la migliore crescita delle piante;
- i diversi ordini di legname traverso devono essere collocati in posizione sfalsata tra di loro. Il posizionamento sfalsato dei traversi è a favore della stabilità. Una volta messi in opera 2 o 4 ordini di legname si procede al riempimento della struttura con inerti, provenienti dallo scavo e terreno vegetale, opportunamente compattato;
- le talee vengono messe in posto negli interstizi tra i tondami orizzontali, generalmente in posizione coricata; esse devono sporgere di circa 25 cm dal fronte della palificata e raggiungere il terreno naturale nella parte posteriore della struttura. Nel caso in cui quest'opera venga utilizzata come difesa spondale, è opportuno porre una fila di massi al piede della palificata, al contatto con l'acqua ed ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4, della lunghezza;
- gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con sassi e terreno vegetale;
- drenaggio: poiché il piano di posa viene fatto a reggipoggio, in alcuni casi è opportuno evitare che le acque si accumulino lungo di esso, appesantendo il terreno sottostante. In tal caso si consigliano elementi drenanti longitudinali, posti alla quota più bassa sul retro dei piano di posa, collegati con elementi ortogonali con pendenza verso valle. Generalmente non si usano filtri in geotessile; qualora fosse strettamente necessario bisogna perforarli infiggendo le talee nel terreno retrostante al fine di consentire lo sviluppo dell'apparato radicale;

- posa di stuoie o georeti sul paramento esterno (eventuale): prevengono l'asportazione parziale del terreno di riempimento da parte delle acque di ruscellamento superficiale nel primo periodo; possono essere messe in opera contemporaneamente alle operazioni di riempimento realizzando sul fronte a vista delle sacche terrose, ricoperte dalle stuoie o georeti, oppure successivamente, coprendo tutto il paramento esterno ad eccezione della parte terminale dei traversi.

Interventi collegati: altre opere di stabilizzazione dei versanti. Può servire d'appoggio per grate vive.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo delle piante. In condizioni climatiche favorevoli le piante radicate possono essere trapiantate anche durante l'estate, purché non vengano danneggiate durante la costruzione.

Vantaggi:
- immediato consolidamento del versante;
- materiale vivo facilmente reperibile in zona;
- costi di manutenzione contenuti;
- flessibilità strutturale.

Svantaggi:
- limitato sviluppo in altezza dell'opera;
- necessità di mezzi meccanici per compiere gli scavi.

Manutenzione e durata dell'opera: nel corso del primo anno si consiglia una sorveglianza costante per evitare lo scalzamento dell'opera. Se si verifica una forte crescita è utile eseguire il taglio delle piante a livello del terreno, in modo da favorire la formazione delle radici. La durata dell'opera dipende dal tipo di legname utilizzato per realizzare la struttura: se si usa il legname di larice la durata è di 20 ÷ 40 anni, mentre è maggiore per legname di castagno.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.37**.

14.3.5 Palificata tipo Roma

Descrizione sintetica: struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere nelle quali vengono inserite fascine e talee di salici. L'opera, posta alla base della scarpata, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte misto a pietrame nella parte sotto il livello medio (**figg. 14.50-14.52**).

Voce di capitolato:
- su versante;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi o sponde in erosione con palificata in tondami di castagno o larice ∅ 20 ÷ 25 cm posti a formare una struttura triangolare in legname, con i montanti, i tiranti ed i traversi di L = 2,5 ÷ 3 m e fissati tra di loro con tondini e barre filettate in acciaio con dadi e rondelle ∅ 14 mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del 10 ÷ 15 % verso monte ed il fronte avrà una pendenza di circa 65° per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; sui trasversi di base sarà posata una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6 x 8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione. Sarà effettuato l'inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno(in ambito idraulico) ed un riempimento con inerte nella zona retrostante; analogamente sarà effettuato l'inserimento di fascine vive (di diametro superiore allo spazio tra i tronchi correnti) e talee di salici , tamerici od altre specie con capacità di propagazione vegetativa nonché di piante radicate di specie arbustive pioniere nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte nella zona retrostante fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.
Rami e piante dovranno sporgere per 10 ÷ 20 cm dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di 1,8 ÷ 2 m. Nel caso della difesa spondale sarà posta una fila di massi al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune d'acciaio di ∅ 16 mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallici di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4 della lunghezza.

Campi di applicazione: versanti instabili, sponde fluviali soggette ad erosione.

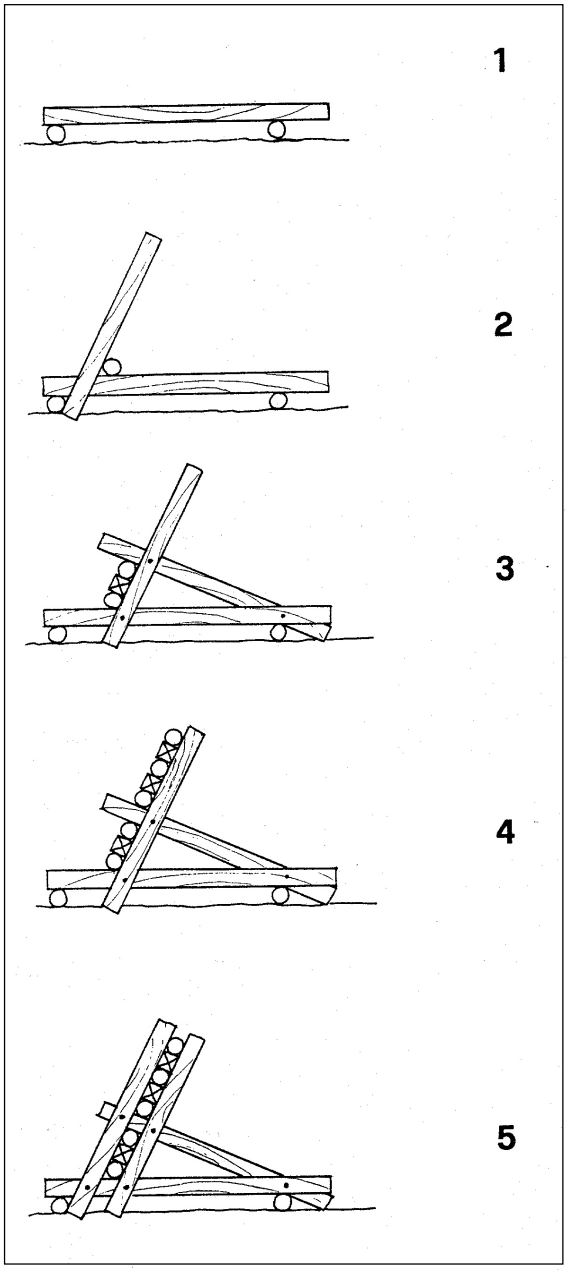
Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica: piede di versanti, corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

Materiali impiegati:
- tronchi di castagno o resinosa scortecciati ∅ 20 ÷ 25 cm;
- chiodature acciaio a.m. ∅ 12 ÷ 14 mm e barre acciaio filettato con dadi e rondelle ∅ 12 ÷ 14 mm;
- rete metallica a doppia torsione zincata e plastificata 6 x 8 cm;
- talee l = 2 ÷ 3 m. ∅ 2 ÷ 5 cm e fascine vive di salice ∅ 25 ÷ 30 cm;
- arbusti radicati autoctoni;
- pietrame D 25 ÷ 30 cm;
- inerte terroso.

Modalità di esecuzione:
- scavo di fondazione in contropendenza (10° ÷ 15°);
- fondazione in massi ciclopici o in gabbioni (solo ambito idraulico);

- posa della prima serie di tronchi correnti, paralleli alla sponda;
- posa della prima serie di tronchi trasversali al di sopra dei correnti e chiodati ad essi, con interasse 1,5 m; successivamente, dopo un riempimento con terreno o pietrame di pezzatura superiore al diametro dei tronchi (in ambito idraulico), si posa sui trasversi una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6 x 8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione;
- al trasverso di base, dopo realizzazione di idonei fori nella rete zincata, verranno incernierati, il montante posteriore con una pendenza intorno ai 65° e, ad idonea distanza, il tirante di collegamento con la base, formando un triangolo con il lato prolungato oltre la cerniera superiore di collegamento. Tale disposizione consentirà il posizionamento dei correnti orizzontali successivi (il primo chiodato sul traverso, il secondo semplicemente appoggiato su un elemento distanziatore in legno di circa 20 cm, il terzo chiodato sul tirante e gli altri appoggiati sui distanziatori in legno senza chiodature;
- successivamente sarà posizionato il montante anteriore, in aderenza al corrente di fondazione, con una pendenza intorno ai 65°, incernierato al trasverso di base ed al tirante di collegamento e fissato ulteriormente, per una migliore stabilizzazione della struttura, con barre filettate di acciaio al montante posteriore attraverso i correnti non ancora chiodati. Per tale operazione, si richiede l'uso di punte di trapano e barre filettate della lunghezza di almeno 60 cm;
- inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno e riempimento con inerte nella zona retrostante (in ambito idraulico);
- inserimento delle fascine vive di salici e talee di specie con capacità di propagazione vegetativa nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte (in ambito idraulico);
- riempimento con inerte e inserimento delle talee di specie con capacità di propagazione vegetativa e degli arbusti radicati autoctoni;
- riempimento con il materiale inerte proveniente dallo scavo fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata.

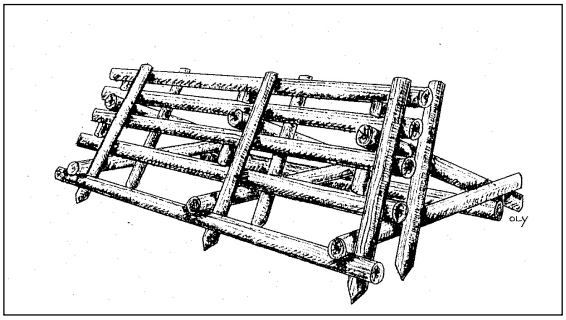
Fig. 14.50 - *Fasi realizzative della palificata viva tipo Roma*



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

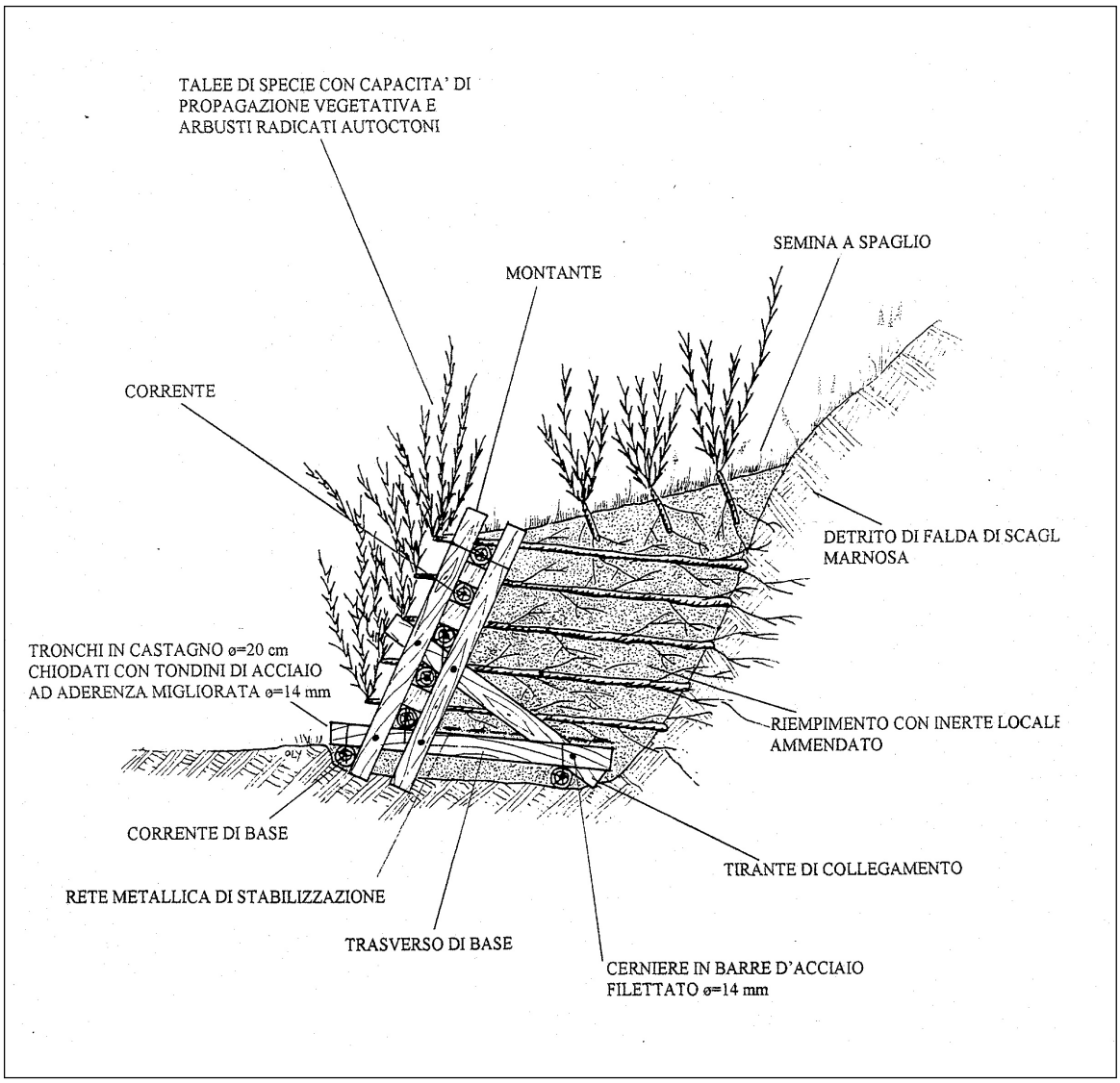
Prescrizioni:
- qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio ∅ 16 mm e piloti metallici L = 2 m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
- le talee dovranno avere una lunghezza superiore allo spessore dell'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;

Fig. 14.51 - *Prospettiva di insieme della struttura della palificata viva tipo Roma*



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

Fig. 14.52 - *Sezione tipo riferita al prototipo della palificata "viva" tipo Roma*


TALEE DI SPECIE CON CAPACITA' DI PROPAGAZIONE VEGETATIVA E ARBUSTI RADICATI AUTOCTONI
MONTANTE
SEMINA A SPAGLIO
CORRENTE
DETRITO DI FALDA DI SCAGL MARNOSA
TRONCHI IN CASTAGNO ø=20 cm CHIODATI CON TONDINI DI ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA ø=14 mm
RIEMPIMENTO CON INERTE LOCALE AMMENDATO
CORRENTE DI BASE
TIRANTE DI COLLEGAMENTO
RETE METALLICA DI STABILIZZAZIONE
TRASVERSO DI BASE
CERNIERE IN BARRE D'ACCIAIO FILETTATO ø=14 mm

Fonte: "Acer", n.1, 2001.

- il fronte della palificata dovrà avere una pendenza massima di 65° per consentire la crescita delle piante;
- sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

Limiti di applicazione: data la particolarità costruttiva la palificata Roma ha un campo ottimale di realizzazione per altezze da 1,8 a 2,2 m.

Vantaggi: rapido consolidamento della scarpata. Rispetto alla tradizionale palificata doppia presenta un risparmio di legname e chiodature.

Svantaggi:
- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

Effetto: il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Possibili errori:
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità vegetativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.38**.

Tab. 14.38 - *Palificata viva tipo Roma: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio qualificato	Ora	0,60		
Operaio comune	Ora	1,20		
b) Noli:				
Autocarro con gru	Ora	0,10		
Terna meccanica	Ora	0,50		
c) Materiali:				
Barre filettate in acciaio (Ø 14mm)	cad	1		
Chiodi in acciaio a.m. (Ø 14mm)	Kg	1		
Rete in acciaio a doppia torsione 6x8cm	m^2	0,4		
Tronchi (Ø 20-25cm)	m^3	0,15		
Arbusti radicati autoctoni	cad	2		
Talee vive di salice	cad	8		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**96,72**
			£/m^2	**187.279**

14.3.6 Palizzata viva filtrante

Funzioni: stabilizzazione e regimazione idraulica in impluvi.

Descrizione: consiste nella sistemazione di solchi a "V" profondi a portate intermittenti, in terreni soffici a granulometria fine (**fig. 14.53**).

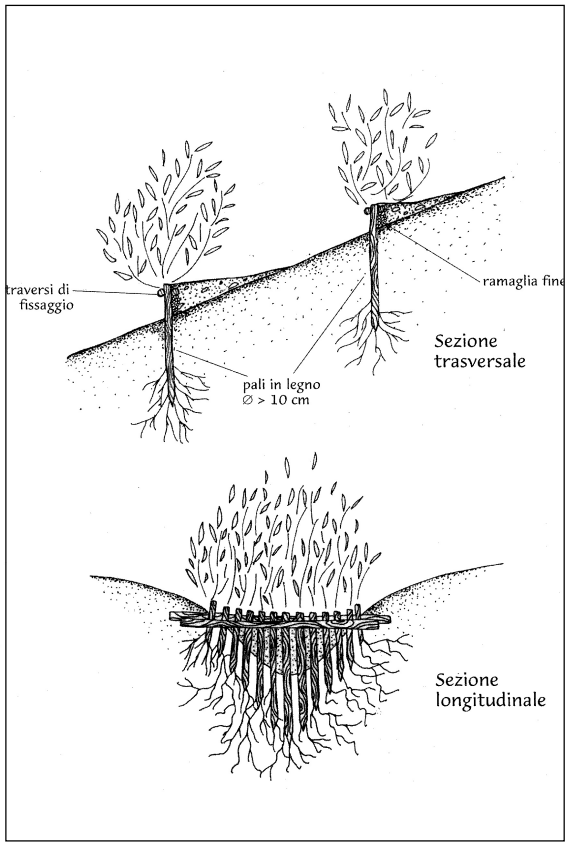
Descrizione da voce di capitolato: sistemazione a gradinata di solchi a "V" profondi e ripidi che normalmente non portano acqua, in terreni soffici ed a granulometria fine (limo, argilla, sabbia) mediante infissione nel terreno uno accanto all'altro, per 1/3 della loro lunghezza, di pali vivi di specie legnose dotate di capacità vegetativa, di ∅ minimo 5 cm, appuntiti in basso e tagliati diritti in alto, rispettando il verso di crescita. I pali vivi verranno legati con filo di ferro ∅ minimo di 2 mm ad un tronco trasversale, bene ammorsato nelle pareti laterali del fosso. Sono possibili luci non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 2 ÷ 4 m.

Effetto: riduzione della pendenza di fondo con conseguente diminuzione della velocità della corrente e rallentamento dell'erosione del fondo.

Campi di applicazione: impluvi, fossi e corsi d'acqua ripidi con sezione a "V", portate intermittenti e trasporto solido prevalentemente in sospensione.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

Fig. 14.53 - *Palizzata viva filtrante*



- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);

• dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido).

La tecnica è applicabile per sezioni del fosso non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 4 m. Non è molto efficiente in corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

Materiali impiegati:
• astoni vivi, quanto più possibile diritti, di specie scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
• pali di castagno o altro legname a lunga durata, ∅ > 10 cm;
• filo di ferro per legature: ∅ 2 ÷ 3 mm oppure rami elastici di salice.

Modalità di esecuzione: riprofilatura a mano delle pareti del solco di erosione esistente. Infissione nel terreno di pali vivi di $\varnothing_{min}$ 5 cm per circa 1/3 della loro lunghezza, disposti uno accanto all'altro, lungo la sezione del solco. I pali devono essere appuntiti in basso e segati diritti in alto. I pali vengono poi legati con filo di ferro ad uno o due tronchi trasversali, ben ammorsati alle pareti laterali del fosso.

Accorgimenti: i pali devono essere infissi oltre che all'interno del solco, anche sui fianchi, per uno sviluppo valutato sulla base delle portate massime raggiungibili e dalle caratteristiche di erodibilità dei litotipi che costituiscono i fianchi del solco. Le pendenze del fosso non devono essere inoltre elevate.

Vantaggi: molto rapida da costruire, la palizzata svolge la funzione di trattenimento subito dopo la sua realizzazione. I costi sono molto limitati.

Svantaggi: è necessaria una grande quantità di materiale vivo e selezionato. I pali vivi, considerate le modalità di posa in opera, hanno bisogno di condizioni di crescita favorevoli per l'attecchimento.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Manutenzione: taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dai pali, in modo da poter controllare l'azione filtrante della palizzata.

14.3.7 Rivestimento vegetale di fossi e solchi di erosione

Funzioni: stabilizzazione, copertura, regimazione idraulica su versante.

Descrizione: consiste nel rivestire con materiale vivo i solchi di erosione che si possono formare nei pendii per ruscellamento delle acque superficiali (**fig. 14.54**).

Effetto: forte azione di protezione "meccanica" dall'erosione immediatamente dopo la posa in opera della ramaglia; successivamente, con lo sviluppo della vegetazione, la radicazione e l'azione di traspirazione delle piante, rallentano fortemente l'azione erosiva, e trattengono il materiale solido facendolo depositare fra i rami. I salici sopportano bene l'inghiaiamento e crescono consolidando prima il fondo del fosso e poi l'intero corpo terroso. Occorre tuttavia che non restino sepolti più di 2/3 dei getti nuovi. Occasionalmente nel fosso può esserci dell'acqua.

Campi di applicazione: l'intervento si presta per il controllo dell'erosione lineare in aree argillose o comunque caratterizzate dall'affioramento di litotipi a granulometria fine. Può essere impiegato anche, per gli stessi scopi, in corsi d'acqua di piccole dimensioni (profondità massima di 3 m; cfr. Schiechtl, 1992), con portate intermittenti e con trasporto solido prevalentemente in sospensione. Tecnica usata in combinazione con pietrame, gabbioni, fascine e viminate.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
• stabilità strutturale e globale dell'opera;
• verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
• dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
• stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
• protezione dall'erosione diffusa e/o incanalata.

La distanza minima tra i pali che devono "fermare" la ramaglia ed il terreno sovrastante deve essere di 2 m, ma può arrivare anche a 50 cm in caso di pendenze notevoli del versante (> 45°). L'opera non è idonea nel caso di solchi di erosione in terreni a granulometria grossolana e di corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

Materiali impiegati:
• ramaglia viva di specie arbustive scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
• paletti in legname con ∅ medio di 6 ÷ 8 cm e lunghezza leggermente superiore alla larghezza del fosso;
• picchetti in legname (anche materiale vivo).
• filo di ferro per legature: ∅ 2 ÷ 3 mm.

Modalità di esecuzione: riprofilatura a mano delle pareti del solco o del fosso di erosione esistente.
Posa della ramaglia viva (si può aggiungere anche una modesta percentuale di ramaglia morta) che viene disposta, in grande quantità

(fino ad uno spessore di 50 cm), "a spina di pesce", con la punta dei rametti rivolta verso l'esterno.
Lo strato di ramaglia deve aderire quanto più possibile alle pareti ed al fondo del solco, in modo da aumentare la possibilità di radicazione.
La ramaglia viene fermata con paletti di legno disposti trasversalmente (ogni 1÷2 metri) sul fondo del fosso e tenuti fermi da uno o due picchetti in legno, legati ad essi con filo di ferro. Il numero dei paletti trasversali è proporzionale alla pendenza del fosso da rivestire (l'intervallo medio tra un paletto e l'altro in genere è di circa 150 cm).
Lo strato di ramaglia viene successivamente ricoperto da un sottile strato di terreno.

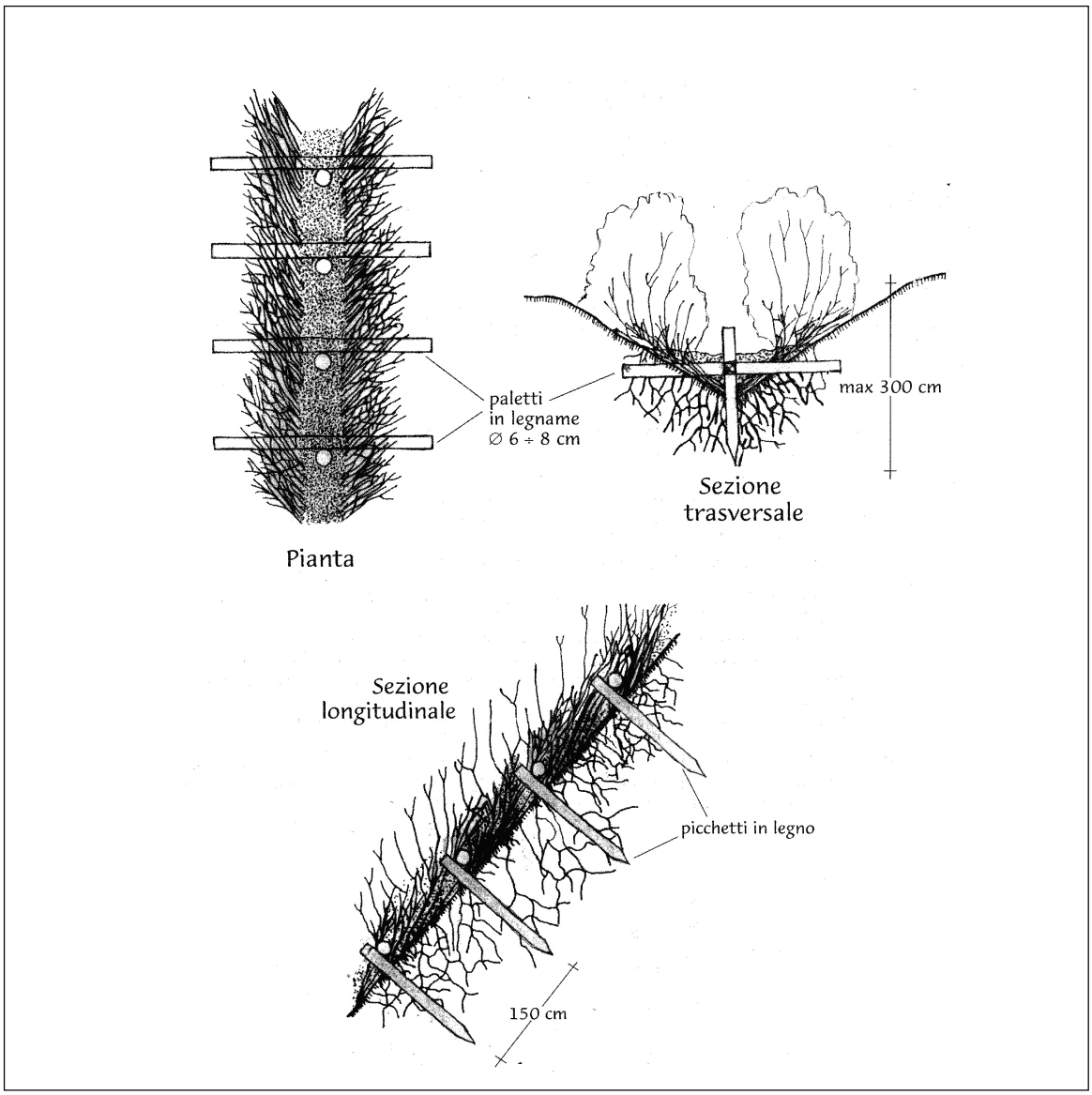
Vantaggi: materiali facilmente reperibili in zona.
In un intervento complessivo che prevede la realizzazione di altre opere con tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, può essere utilizzato il materiale che deriva dagli scarti della preparazione di talee. Impiego limitato di manodopera.

Svantaggi: è necessaria una grande quantità di materiale vivo.
Tecnica non adatta in caso di deposizioni di materiale superiori a 50 cm per ogni singolo evento.

Periodo di intervento: durante il periodo di riposo vegetativo.

Manutenzione: tagli frequenti della vegetazione arbustiva che si sviluppa dalla ramaglia al fine di mantenerla elastica, in modo da permettere il passaggio dell'acqua in superficie (il flusso deve essere rallentato, non ostacolato completamente).

Fig. 14.54 - *Rivestimento vegetale di fossi e solchi in erosione*



14.3.8 Pennelli e repellenti vivi

Descrizione sintetica: i pennelli ed i repellenti vivi sono opere trasversali rispetto alla direzione di flusso della corrente. Sono costruzioni che partono dalle sponde ed hanno una posizione ad angolo retto, o con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione di flusso. Possono essere realizzati su una sola sponda o su entrambe le sponde, in questo caso si troveranno contrapposti. Si realizzano mediante l'utilizzo di pali in legno infissi nell'alveo e ramaglia viva o morta intrecciata, con pietrame, talee o altro. Vengono utilizzati per delimitare il letto di deflusso delle portate medie, verso il centro del corso d'acqua, ed a protezione delle sponde soggette ad erosione. Se si vuole meandrizzare il corso d'acqua i pennelli dovranno essere disposti in modo alternato (**figg. 14.55-14.57**).

Descrizione da voce di capitolato: formazione di pennelli a partire dalla riva e posizionati ad angolo retto, con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione del flusso, costituiti da pali di lunghezza variabile (in genere 100 ÷ 150 cm e ∅ 5 ÷ 10 cm) disposti a file singole o multiple, sui quali vengono intrecciati rami o verghe di salice. La struttura verrà posizionata in modo da determinare una riduzione della forza erosiva dell'acqua, dell'erosione e al contempo un deposito del trasporto solido.

Campi di applicazione: trovano applicazione in corsi d'acqua con larghezza minima di circa 10 m, dove è necessario allontanare la corrente dalle sponde e arrestare l'erosione. Si creano così delle aree nelle quali l'acqua deposita il materiale solido e nelle quali viene impedita l'asportazione per la riduzione della velocità della corrente. Hanno un particolare significato ecologico, in quanto, costituiscono un buon rifugio per la fauna ittica.

Effetto: svolgono efficaciemente funzione antierosiva; inducono la formazione di barre falciformi sulle sponde e di buche, raschi, barre in alveo.

Fattibilità: i pennelli possono essere realizzati sia su corsi d'acqua di ampie dimensioni, in prossimità di sezioni in cui si vuole diminuire la velocità di erosione della corrente o in corsi d'acqua di dimensioni più ridotte in prossimità di tratti con elevata erosione di sponda che potrebbe innescare dissesti sul versante per scalzamento al piede. Esistono diverse tipologie di pennelli, quali: pennello in pietrame con talee, pennello vivo ad intreccio, repellente di ramaglia a strati, pennelli di fascine, in gabbioni metallici, in rulli cilindrici, in pali di legno).

Materiali impiegati:
- pali in legno con L = 150 ÷ 200 cm e ∅ = 10 ÷ 15 cm;
- ramaglia morta;
- ramaglia viva per intreccio;
- talee di salice;
- eventuale materiale di riempimento, ghiaia e sassi;
- barre di ferro.

Modalità di esecuzione:
- formazione di uno scavo di fondazione come base di appoggio dei materiali costituenti i pennelli con profondità pari a circa 30 ÷ 50 cm e larghezza 50 ÷ 70 cm;
- infissione delle file di pali in legname, che possono essere 2 o 3 a seconda delle dimensioni che si vogliono realizzare. I pali vengono collegati tra loro mediante traverse intercalate a strati di ramaglia morta;
- ricoprimento dell'opera con ghiaia e pietrame da reperirsi preferibilmente in loco. Appoggiate ai pali, quindi in senso longitudinale, vengono disposte fascine vive di salici, che, sviluppandosi, possono rendere il pennello un buon rifugio per la fauna;
- realizzazione di una protezione a monte e a valle del pennello, in pietrame, di pezzatura e altezza dettate dalle caratteristiche idrodinamiche del corso d'acqua.

Interventi collegati: sistemazioni idrauliche.

Prescrizioni:
- la distanza tra i repellenti deve essere circa uguale alla larghezza del corso d'acqua o 1,5 fino a 2,5 volte la lunghezza del repellente stesso;
- per il restringimento di sezione i repellenti andranno posizionati contrapposti sulle due sponde;
- per l'effetto meandreggiante i repellenti andranno posizionati sfalsati, con una distanza che rispetta la cadenza naturale del meandreggio (8 ÷ 12 volte la larghezza dell'alveo).

Vantaggi:
- i pennelli vivi diventano parte integrante della sponda, in continuità anche con la vegetazione della sponda stessa;
- la presenza di ramaglia rallenta la velocità dell'acqua e la rimescola, creando zone di acqua bassa tranquilla, indicata per la riproduzione di specie ittiche;
- sono strutture che permettono di bloccare il materiale galleggiante ingombrante, come tronchi, rifiuti, ecc. che causerebbero l'eventuale inquinamento a valle o in mare;
- creazione di superfici umide fresche, che consentono di limitare la temperatura durante il periodo estivo, quindi il proliferere dei batteri.

Svantaggi:
- a causa delle turbolenze e delle correnti trasversali che si vengono a generare, si possono avere erosioni in testa e al piede dei repellenti, nonché sulla sponda opposta se non correttamente dimensionati e posizionati;
- impiego di grandi quantità di materiale vivo.

Effetto: vi è una riduzione della velocità dell'ac-

qua e un rimescolamento dell'acqua con riduzione della velocità di flusso che consente la deposizione di materiale solido. I pennelli costituiscono inoltre punti di rifugio per la fauna.

Periodo di intervento: i pennelli realizzati con materiale vegetale vivo devono essere messi in opera durante il periodo di riposo vegetativo.

Manutenzione e durata dell'opera: nei primi due anni dovrà essere posta attenzione allo sviluppo delle talee, con sostituzione delle fallanze. Dopo ogni evento di piena sarà opportuno verificare le condizioni della protezione in massi ed eventualmente riposizionare il pietrame asportato dalla corrente.

Possibili errori: scelta errata del periodo per la posa in opera di materiale vegetale vivo. Sottodimensionamento rispetto ai parametri idraulici.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.39**.

Tab. 14.39 - *Pennelli e repellenti vivi: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
b) Noli:				
Autocarro con gru	Ora	0,1		
c) Materiali:				
Verghe vive	cad	10		
Fascine vive	m	1		
Picchetti in acciaio	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,18		
Paletti in legno	cad	2		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**44,58**
			£/m²	**86.313**

Fig. 14.55 - *Pennelli e repellenti vivi*

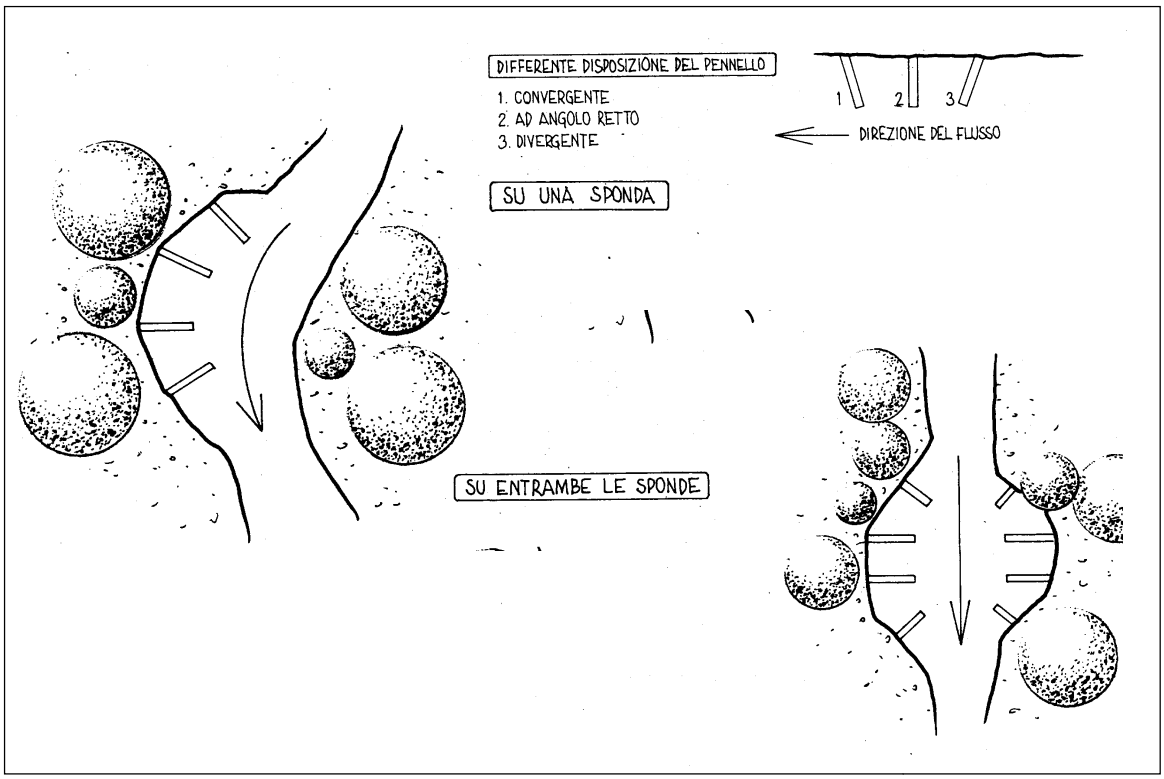


Fig. 14.56 - *Pennelli a due e tre file di pali*

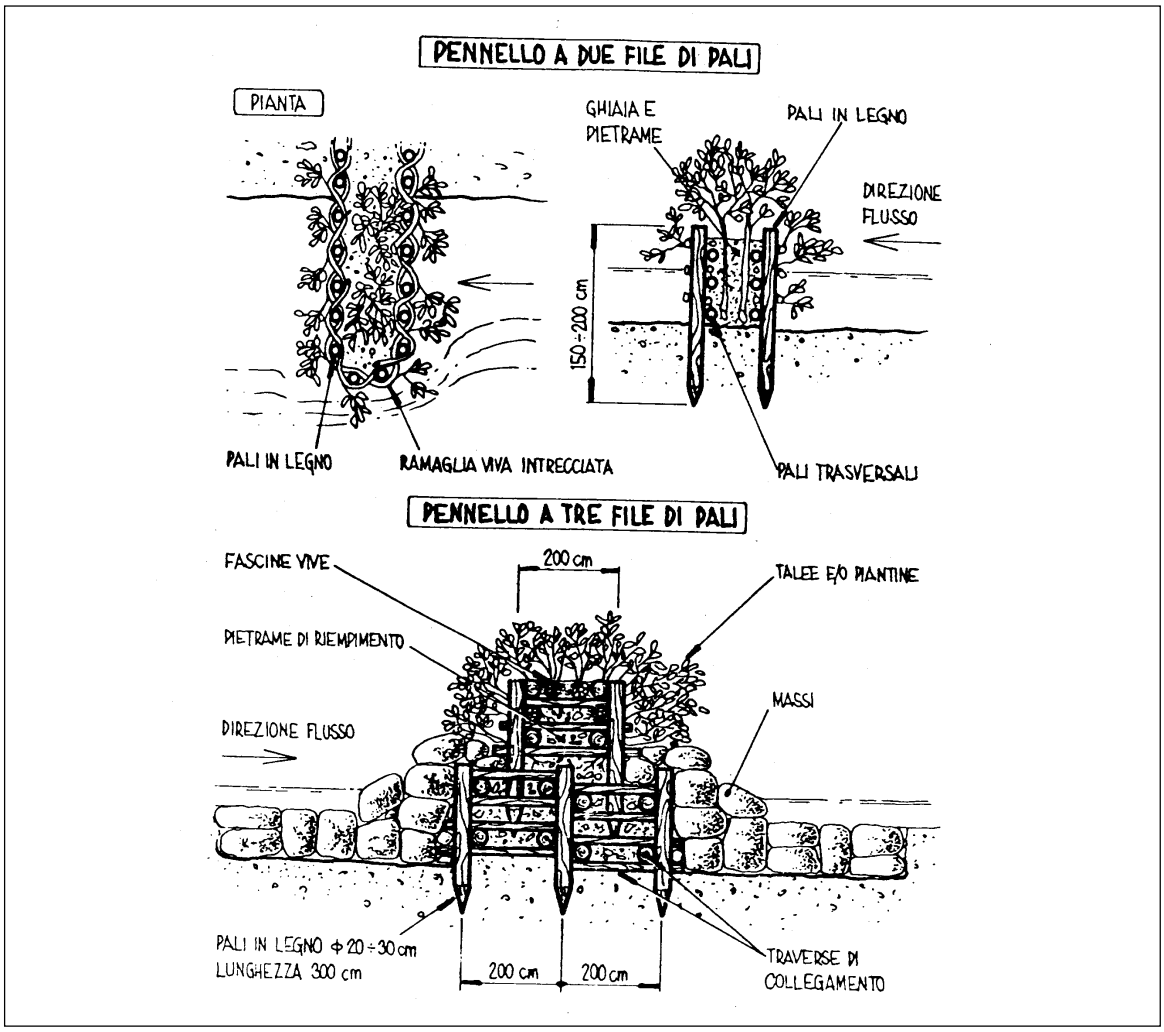
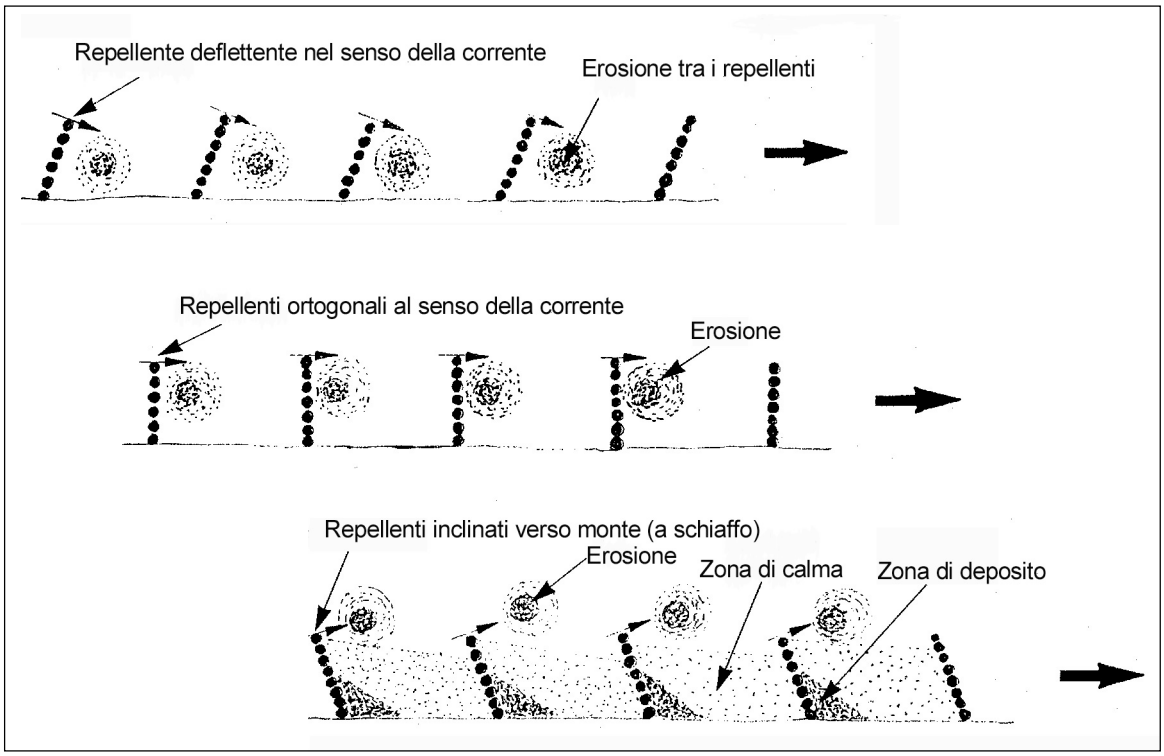


Fig. 14.57 - *Repellenti vivi*



14.3.9 Gabbionata in rete metallica zincata rinverdita

Descrizione sintetica: parallelepipedi in rete metallica zincata a maglia esagonale, riempite in loco con pietrisco di pezzatura minima 15 cm, disposti a file parallele sovrapposte. Talee di salice vengono inserite nella prima maglia del gabbione superiore e non tra un gabbione e l'altro. In commercio si possono trovare anche gabbioni a sacco, cilindrici, a rullo.

Descrizione da voce di capitolato:
- *variante a*: con talee;
- *variante b*: con cuneo verde interno;
- *variante c*: con cuneo verde esterno.

Formazione di gabbionata verde mediante impiego di normali gabbionate in rete metallica a doppia torsione di maglia esagonale minima 8 x 10 cm tessuta con trafilato in ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto di rivestimento plastico in PVC di spessore minimo di 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo minimo del filo 3,7 mm, confezionato a parallelepipedo di varie dimensioni (in genere 0,5 ÷ 1 m x 1 m x 2 m).
Tali elementi, riempiti con pietrame grossolano sono tradizionalmente usati nelle costruzioni idrauliche, stradali, consolidamento di versanti, ecc. Nel loro impiego combinato con piante vive si prestano a varie applicazioni dell'ingegneria naturalistica che sono suscettibili di ulteriori evoluzioni data l'adattabilità dei materiali.
Già il loro uso tradizionale presenta notevole plasticità dando adito nel tempo a processi di rinaturazione spontanea.
Sulle tipologie di abbinamento sinora operate valgono le seguenti indicazioni:
- inserimento di talee, ramaglia viva, piante all'interno del gabbione o tra un gabbione e quello soprastante in fase di costruzione (variante a), le talee dovranno attraversare completamente il gabbione ed essere inserite nel terreno dietro il gabbione stesso per una profondità che dia garanzia di crescita. Tale operazione potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo;
- realizzazione di un cuneo frontale interno costituito da un non tessuto verticale di separazione interna verso il pietrame e una georete tridimensionale plastica o in fibra vegetale verso l'esterno, il tutto riempito di terra vegetale, seminato e piantato (*variante b*);
- formazione di un cuneo, come al punto precedente, ma esterno realizzato sul gradoncino tra un gabbione e quello soprastante in genere arretrato di 50 cm. In questo caso il non tessuto è posto esternamente a rivestire la parte orizzontale, e in parte quella verticale, del gradoncino. Il cuneo potrà essere semplicemente ricaricato di terra vegetale, seminato e piantato oppure richiuso con una rete zincata foderata con georete tridimensionale sintetica o in fibra vegetale.

Campi di applicazione: difesa longitudinale e/o trasversale di corsi d'acqua; piedi di pendii umidi; versanti in erosione; palizzate filtranti; briglie in golene allagate occasionalmente.

Materiali impiegati:
- ciottoli di fiume ∅ 15 ÷ 30 cm o pietrame;
- gabbia in filo di ferro zincato, maglia minima 8 x 10 cm a doppia torsione;
- filo di ferro zincato ∅ 2,4 ÷ 3 mm;
- talee di salice.

Modalità di esecuzione classiche delle gabbionate:
- preparazione di un avvallamento in cui stendere il parallelepipedo prefabbricato e sua apertura con la chiusura dei lati verticali, utilizzando filo di ferro ∅ minimo 2,7 mm, oppure un'apposita macchina pinzatrice;
- riempimento con ciottoli e sistemazione a mano dei ciottoli;
- chiusura della parte sommitale;
- posizionamento della successiva fila di gabbioni, arretrata rispetto a quella sottostante di 0,5 m;
- inserimento di talee e ramaglia di salice nella prima maglia, di lunghezza tale da toccare il terreno retrostante e inserite in corso d'opera. È impossibile inserirle a posteriori;
- qualora si intenda realizzare il cuneo di terreno vegetale, è necessario durante il riempimento sistemare all'interno una stuoia di contenimento sia a contatto con il pietrame sia frontalmente verso la rete;
- per il cuneo tra le file è sufficiente riportare materiale inerte e terreno vegetale.

Prescrizioni: affinché il gabbione non subisca deformazioni per eventuali sollecitazioni esterne, è opportuno ancorare il gabbione con tiranti o grossi tondini di ferro al terreno retrostante.
Siccome i gabbioni vengono impiegati in ambito fluviale, per evitare erosione al piede di sponda, è necessario predisporre un letto di ramaglia prima della posa dei gabbioni stessi: ramaglia morta al di sotto del livello di magra, ramaglia viva al di sopra.
La gabbionata sarà ancorata al terreno con picchetti in legno (∅ 5 ÷ 10 cm) o tondini in ferro (∅ 12 ÷16 mm) infissi per almeno 1 m, qualora il peso della gabbionata non sia sufficiente a mantenere in loco la struttura.
In casi particolari e di riempimento manuale, ramaglie e talee possono essere sistemate all'interno del gabbione, in corso d'opera.

Limiti di applicabilità:
- aste torrentizie con velocità della corrente superiore a 6 m/s e diametro di trasporto solido superiore a 20 cm;
- aste terminali su suoli limoso - sabbiosi.

Vantaggi:
- tecnica di esecuzione rapida e semplice;
- effetto contenitivo immediato;
- drenaggio delle acque sub-superficiali;

Fig. 14.58 - *Gabbionata in rete metallica zincata rinverdita: sezione*

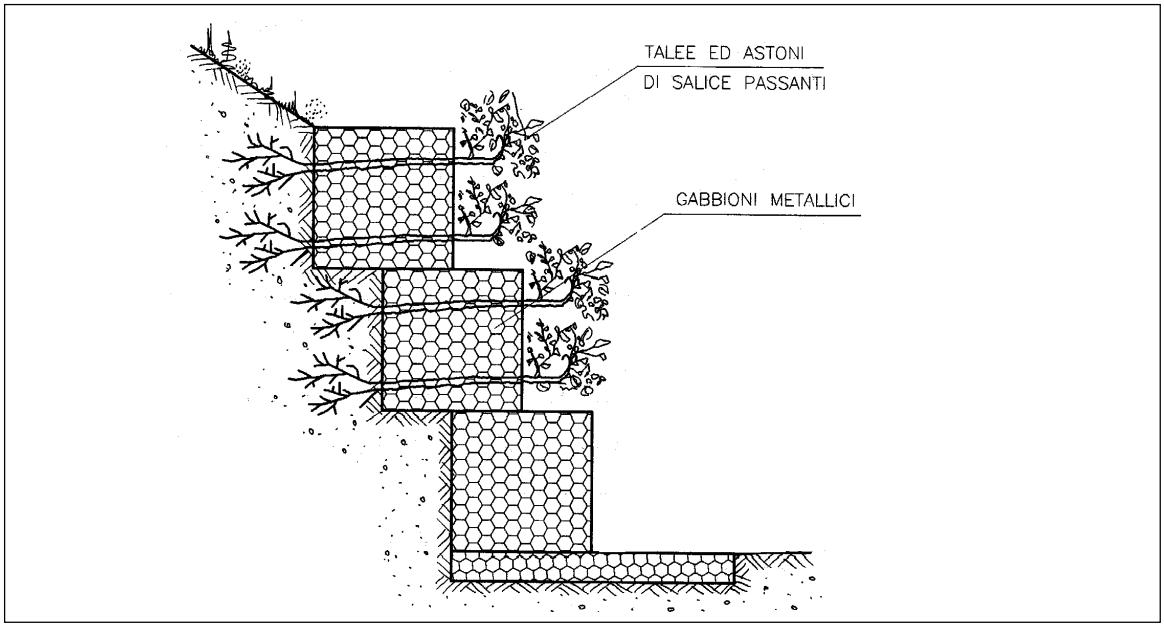
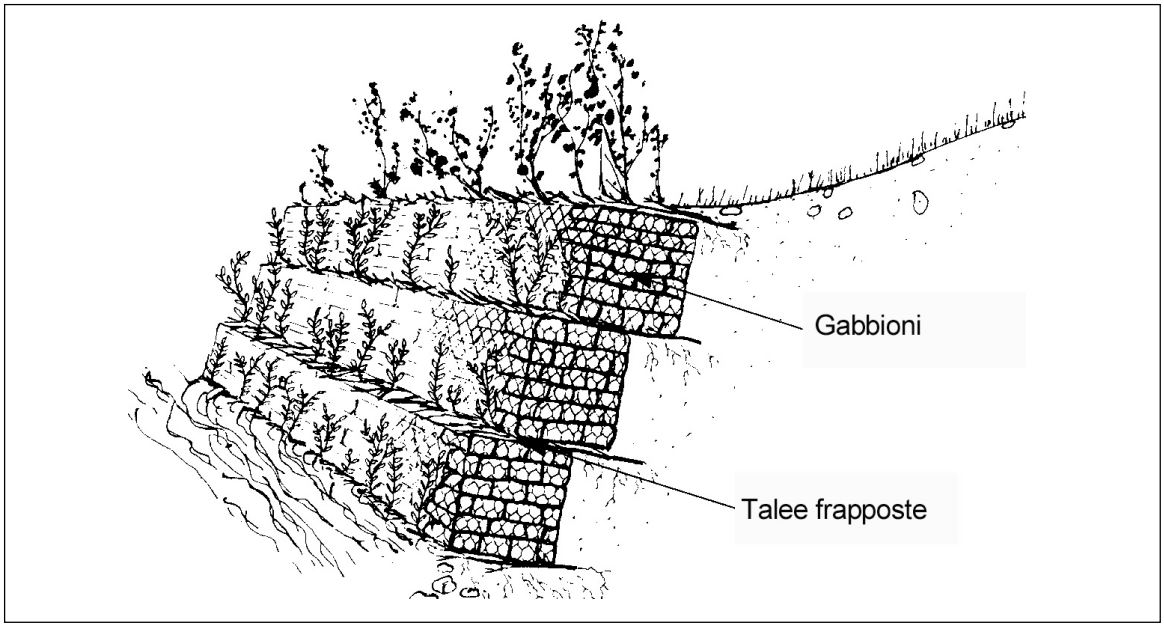


Fig. 14.59 - *Gabbionata in rete metallica zincata rinverdita: prospetto*



- è una struttura muraria di sostegno permeabile all'acqua;
- struttura elastica con buona risposta alle sollecitazioni.

Svantaggi:
- non rinverdibile una volta posto in opera;
- la realizzazione è vincolata dalla disponibilità in loco di idoneo materiale lapideo per i riempimenti;
- rischio di rottura della rete, qualora non sia sufficientmente protetta con opere al piede.

Effetto: struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

Periodo di intervento: durante il riposo vegetativo.

Possibili errori:
- mancato ancoraggio dei gabbioni al terreno retrostante con pericolo quindi di "spanciamento";
- mancato inserimento di talee e ramaglie di salice;
- esecuzione fuori stagione con scarse possibilità di attecchimento;
- erosione al piede;
- posa delle sole talee tra le file di gabbioni.

Note: in terreni limoso-sabbiosi si può ovviare ai problemi di sprofondamento della struttu-

Tab. 14.40 - *Gabbionata in rete metallicazincata rinverdita: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,1		
Operaio comune	Ora	1,1		
b) Noli:				
Pala articolatrice articolata	Ora	0,25		
c) Materiali:				
Gabbioni h1	Kg	9,15		
Punti metallici	cad	30		
Pietrame	m^3	1,2		
Verghe	cad	8		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**113,62 ÷ 129,11**
			£/m^2	**220.000 ÷ 250.000**

ra, con stendimento di adeguato tessuto - non tessuto (TNT), come base di appoggio per la distribuzione dei pesi, eventualmente associata alla posa di materassi in rete metallica zincata a doppia torsione.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.40**.

14.3.10 Materasso spondale in rete metallica rinverdito

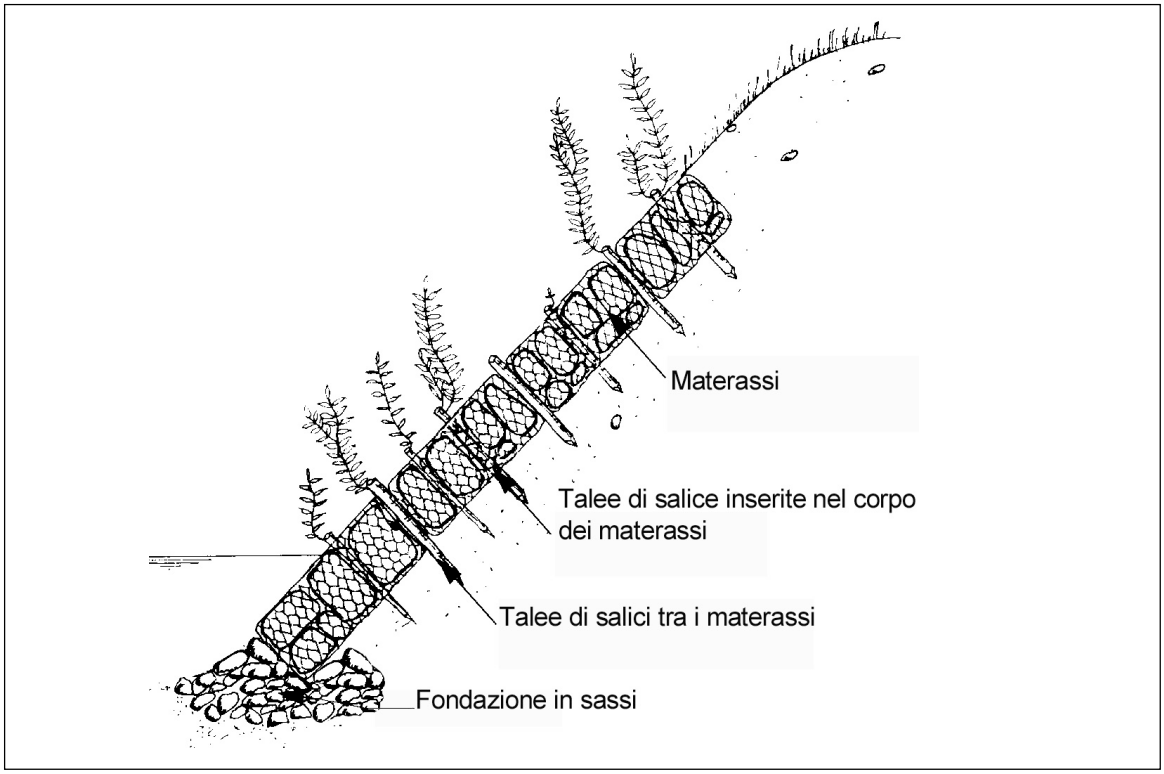
Descrizione sintetica: si tratta di difese spondali flessibili e permeabili alla vegetazione, costituite da materassi a tasche in rete metallica a doppia torsione zincata. I materassi vengono assemblati *in situ* e riempiti di pietrame. Dato lo spessore esiguo (massimo 30 cm) ed il riempimento caratterizzato da forte porosità, queste strutture si prestano molto bene ad essere colonizzate dalla vegetazione. In particolare, è possibile accelerare i processi di rinaturalizzazione ed aumentare l'efficacia di queste protezioni, inserendo talee di salice, intasando il pietrame con terra e rinverdendo successivamente, oppure realizzando delle tasche riempite di terra e foderate mediante un filtro all'interno delle quali mettere a dimora la vegetazione (**figg. 14.60-14.61**).

Descrizione da voce di capitolato: formazione di rivestimento in materasso verde in gabbionate di spessore minimo di 0,17 cm, in moduli di larghezza minima di un metro, fabbricati con rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 6 x 8 cm, tessuta con trafilato di ferro, di diametro minimo 2,2 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto da un rivestimento plastico di PVC di spessore minimo 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo del filo non inferiore a 3,2 mm., foderati sul fondo in geotessuto sintetico o in fibra vegetale ritentore di fini del peso minimo di 350 g/m^2, riempito di un miscuglio di terreno vegetale e/o materiale sciolto con caratteristiche fisico-idrologiche, chimiche ed organiche tali da favorire la germinazione e la crescita delle piante. La copertura esterna sarà realizzata con rete metallica dello stesso tipo abbinata ad una georete tridimensionale o a un biofeltro in fibra vegetale di minimo 800 g/m^2 eventualmente preseminato e preconcimato. A chiusura avvenuta il materasso verrà ulteriormente seminato in superficie e piantato con talee, rizomi, cespi ed arbusti radicati di specie autoctone. Le operazioni in verde verranno eseguite nelle stagioni idonee:

a) *spondale*: verrà adottata in condizioni di pressione idraulica significativa su sponde di fiumi e canali con pendenza massima 2/3, operando il rivestimento continuo o finestrato con moduli a diaframmi interni con interasse 1 m. In testa e al piede verrà effettuato un riempimento con pietrame;
b) *su scarpata*: prevede la collocazione su pendio, in genere in roccia, su pendenze massime di 45° - 50° anche di singoli materassi, in genere di minimo 0,2 m x 1 m x 2 m, fissati mediante barre metalliche di lunghezza e diametro atti a garantire l'aderenza e la stabilità del materasso stesso. L'impiego su scarpata è giustificato in condizioni di pendenza e substrato tali da non consentire altri interventi a verde. Il valore soglia di 45° ÷ 50° è condizionato dall'apporto di acque meteoriche che a valori superiori diventa insufficiente.

La messa a dimora di specie arbustive prevede il taglio di alcune maglie della rete nella parte superficiale.
Va accuratamente effettuata la selezione delle specie pioniere xeroresistenti autoctone e ove necessario (nelle regioni centro meridionali e in esposizione a sud) adottato un impianto di irrigazione di soccorso per i primi due cicli stagionali sino ad affrancamento avvenuto delle piante.

Fig. 14.60 - *Materasso spondale in rete metallica rinverdito*



Campi di applicazione: i rivestimenti con materassi vengono usati nell'ambito di opere idrauliche per realizzare difese in grado di contrastare l'azione erosiva della corrente al fondo e sulle sponde di corsi d'acqua.

Fattibilità: i rivestimenti in materassi presentano le seguenti caratteristiche:
- possono essere realizzati in qualsiasi tipo di ambiente, anche in presenza d'acqua, in quanto è possibile costruirli all'asciutto e con un pontone calarli in acqua;
- sono immediatamente attivi dal punto di vista della difesa e consentono alla vegetazione di svilupparsi e di raggiungere la propria efficienza senza rischi di erosione;
- sono compatibili con la vegetazione erbacea (si possono intasare e/o ricoprire di terra) ma possono anche ospitare piante in vaso, a radice nuda o talee di salice;
- sono drenanti e flessibili, quindi non danno luogo all'insorgere di sottopressioni e si adattano ad eventuali movimenti delle sponde o fenomeni di erosione dell'alveo;
- come ogni tipo di difesa idraulica è necessario verificarne la compatibilità con le condizioni idrauliche in termini di tensioni tangenziali ammissibili che, nel caso di questi materiali, varieranno in relazione allo spessore del rivestimento.

Materiali impiegati: i materassi hanno spessore variabile (17 cm ÷ 23 cm ÷ 30 cm), sono realizzati con rete metallica a doppia torsione zincata, con maglia esagonale tipo 6 x 8, con filo di diametro 2,2 mm zincato, rispondente alla norma UNI 8018; nei casi in cui si richieda una durata elevata si adotterà un rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio. Le dimensioni dei singoli materassi andranno scelte opportunamente a seconda delle situazioni ed in base agli standard generalmente disponibili: 2 x 2,3 x 2 m, 4 x 2 m, 5 x 2 m, 6 x 2 m. I materassi arrivano in cantiere ripiegati, vengono aperti, assemblati e pinzati con anelli e riempiti di ciottoli.
Per realizzare il rivestimento sono necessari:
- il materasso;
- pietrame di riempimento di opportune dimensioni;
- filo zincato o punti metallici meccanizzati con rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio;
- terreno vegetale per l'intasamento;
- talee, o piantine per il consolidamento e rinverdimento;
- idrosemina per l'inerbimento;
- un eventuale geotessile filtrante.

Modalità di esecuzione: le fasi della realizzazione del rivestimento con materassi flessibili possono essere cosi schematizzate:
- posa del materasso ed assemblaggio;
- riempimento con pietrame e sistemazione a mano dei ciottoli e posa di talee o piante;
- intasamento e ricopertura con terreno;
- posa dei coperchi e chiusura dei materassi.

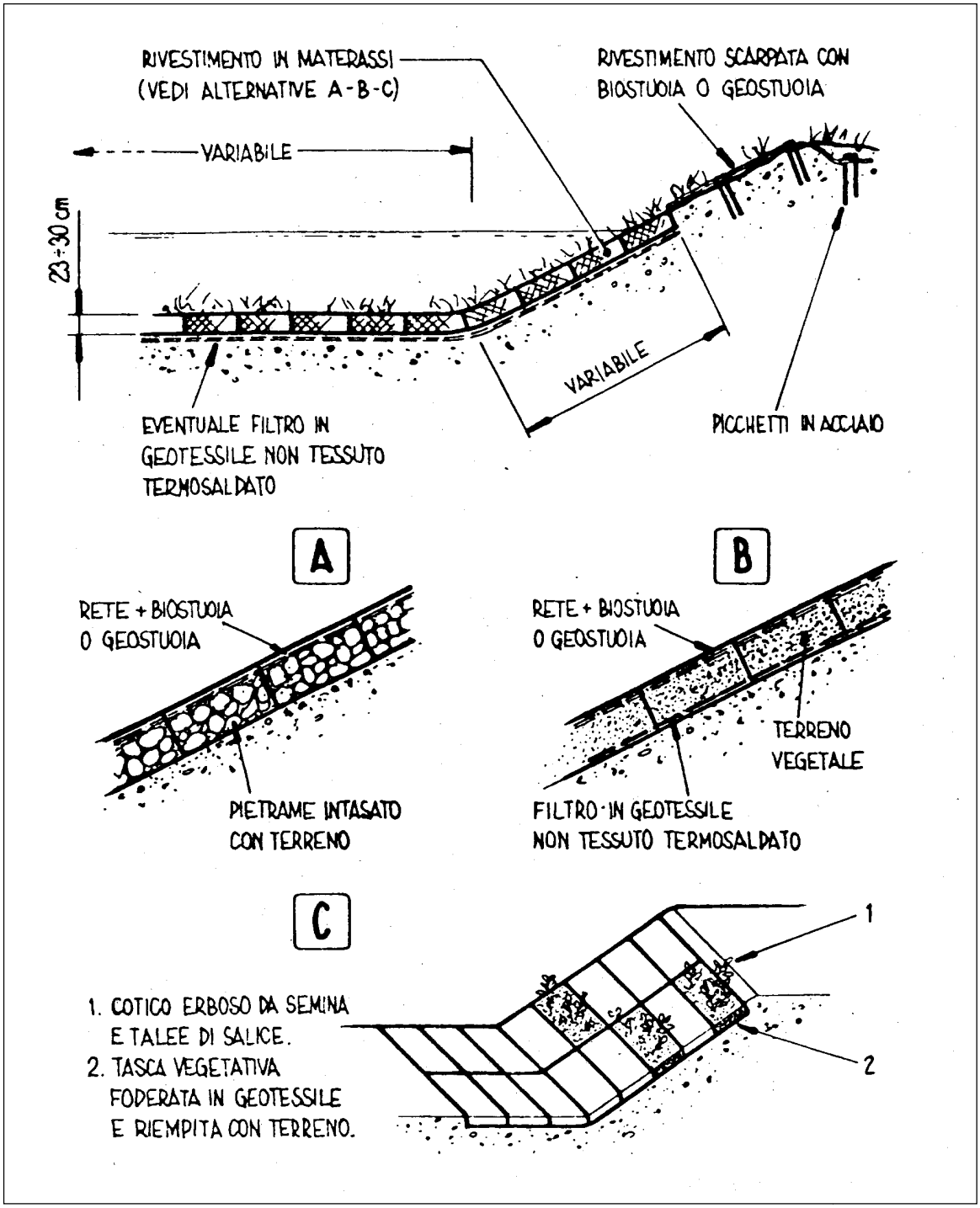
La posa dei materassi deve avvenire su scarpate inclinate di non più di 40° sull'orizzontale, per non avere difficoltà nella posa del pietrame; quando la pendenza supera i 40° ÷ 45° è opportuno fissare con picchetti o tondini di ferro acciaioso i materassi, per non correre il ri-

schio di slittamenti. I picchetti o i tondini andranno resi solidali con fune metallica avente diametro di 16 ÷ 22 mm e non sulle maglie, la cui resistenza va eventualmente calcolata. La cucitura dei materassi va effettuata per mezzo di filo metallico zincato, avente le stesse caratteristiche di quello costituente i materassi o con punti metallici meccanizzati messi in opera con una pistola pneumatica o manuale. Il riempimento andrà effettuato assestando con cura il pietrame che dovrà avere dimensioni tali da non passare attraverso le maglie, non dovrà essere né gelivo né friabile. Le talee o le piante andranno poste in opera durante il riempimento avendo cura di inserire la pianta nel terreno sottostante il materasso. Eventuali tasche vegetative riempite di terreno andranno foderate e protette con una biostuoia antierosiva.

Interventi collegati: interventi di sistemazione idraulica.

Periodo di intervento: il periodo di esecuzione dipende principalmente dal tipo di materiale vivo che si intende usare. Nel caso in cui

Fig. 14.61 - *Materasso spondale in rete metallica rinverdito*



Tab. 14.41 - *Materasso spondale in rete metallica rinverdito: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
b) Noli:				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,15		
c) Materiali:				
Materasso	Kg	3,7		
Biofeltro	m^2	2		
Punti metallici	cad	18		
Pietrame	m^3	0,1		
Terreno vegetale	m^3	0,3		
Talee	cad	3		
Idrosemina	m^2	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**54,23 ÷ 61,97**
			£/m^2	**105.000 ÷ 120.000**

si operi in un corso d'acqua con regime molto variabile stagionalmente, l'ideale sarebbe intervenire nei periodi di magra.

Manutenzione e durata dell'opera: se ben progettate e accuratamente realizzate, queste opere non necessitano di particolari manutenzioni e possono quindi mantenere la loro piena funzionalità per diverse decine di anni.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.41**.

14.3.11 Terra rinforzata rivegetata

Descrizione sintetica: le terre rinforzate sono opere di sostegno a gravità che consentono il consolidamento di versanti o sponde instabili o la formazione di rilevati. Si tratta di opere che hanno il pregio di essere deformabili e sufficientemente permeabili, che sfruttano il principio del rinforzo orizzontale delle terre (ottenuto in vari modi abbinando i materiali di rinforzo con paramenti esterni tali da consentire la crescita della vegetazione (**figg. 14.62-14.69**).

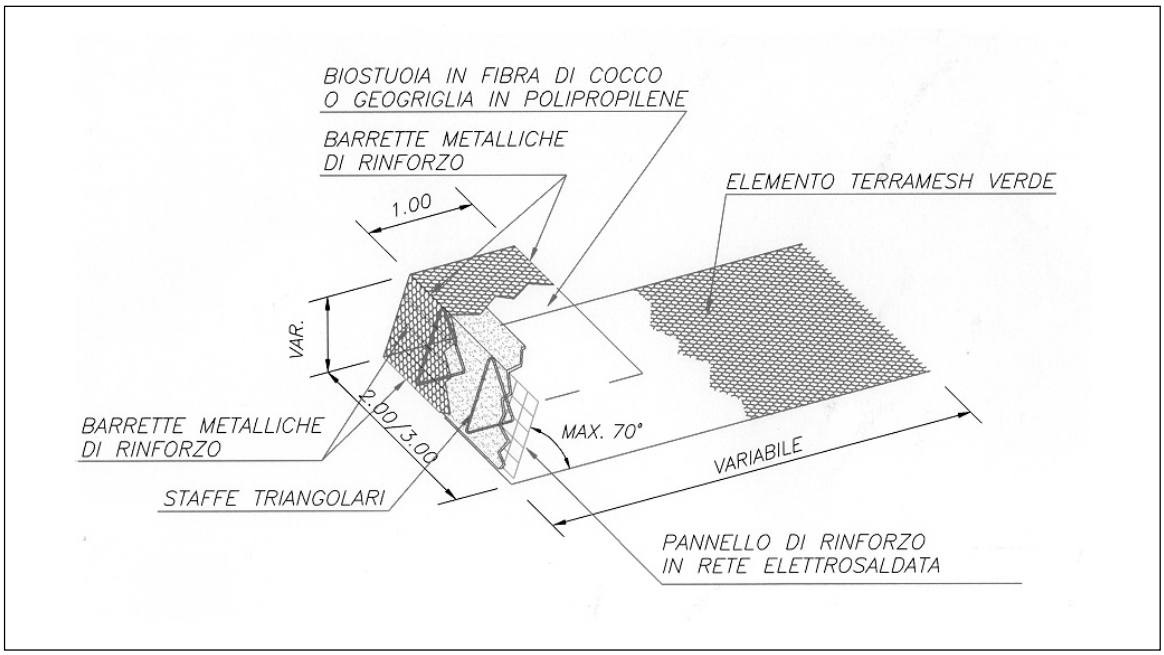
Descrizione da voce di capitolato: formazione di opere sostegno in terra rinforzata abbinando materiali di rinforzo di varia natura con paramenti sul fronte esterno realizzati in modo da consentire la crescita delle piante.
Ciò si ottiene con varie tecnologie ma secondo le seguenti prescrizioni generali:
- pendenza massima del fronte esterno di 60° ÷ 70°) per consentire alle piante di ricevere almeno in parte l'apporto delle acque meteoriche;
- presenza di uno strato di terreno vegetale verso l'esterno a contatto con il paramento;
- idrosemina con miscele adatte alle condizioni di intervento con quantità minima di seme di 60 g/m^2, collanti, ammendanti, concimanti e fibre organiche (*mulch*) in quantità tali da garantire la crescita e l'autonomia del cotico erboso. A miglior garanzia di riuscita del cotico erboso le stuoie frontali dovranno, ove tecnicamente possibile, essere preseminate e preconcimate;
- messa a dimora di specie arbustive pioniere locali per talee o piante radicate in quantità minima di 1 ogni 5 m^2, che svolgono nel tempo le seguenti funzioni: consolidamento mediante radicazione dello strato esterno della terra rinforzata; copertura verde della scarpata con effetto combinato di prato-pascolo arbustato che più si avvicina agli stadi vegetazionali delle scarpate naturali in condizioni analoghe; raccolta e invito delle acque meteoriche, sopperendo in tal modo all'eccessivo drenaggio dell'inerte e all'eccessiva verticalità;
- realizzazione di un sistema di drenaggio a tergo della struttura in terra rinforzata che non impedisca però la crescita delle radici.

L'impiego delle specie arbustive sulle terre rinforzate va considerato quindi una condizione indispensabile per dare autonomia naturalistica, stabilità superficiale e collaudabilità a questo tipo di interventi. Per le terre rinforzate a paramento vegetato valgono, e devono essere parte integrante della progettazione, i principi statici e costruttivi delle terre rinforzate con particolare riferimento a: verifica di stabilità interna in assenza di pressioni interstiziali, verifica di stabilità esterna (schiacciamento del terreno di fondazione, ribaltamento, scivolamento lungo il piano di base) e quella globale dell'insieme struttura terreno; dimensionamento

opportuno dei materiali di rinforzo in funzione della tensione ammissibile e di esercizio della struttura in relazione all'altezza e profondità della terra rinforzata, spessore degli strati, pendenza, caratteristiche del rilevato; selezione degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio; compattazione degli stessi a strati di spessore massimo 0,4 m mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante con raggiun-gimento del fattore di compattazione almeno pari al 95% dello standard Proctor.

- con geosintetici: per il rinforzo delle terre vengono utilizzati geosintetici costituiti da fibre di varia natura (poliestere, polietilene, polipropilene). Nella specifica del materiale di rinforzo da impiegare oltre alle caratteristiche fisiche quali resistenza a trazione (superiore a 20 KN/m) ed allungamento a rottura compatibile con le deformazioni della struttura rinforzata, dovrà essere indicato il valore di tensione ammissibile del materiale che tenga in considerazione la natura del polimero, la qualità delle fibre impiegate, il comportamento al creep del materiale, il danneggiamento meccanico, chimico ed ai raggi UV e la durata di esercizio dell'opera: tali caratteristiche dovranno essere documentate con certificazioni di qualità in conformità alla normativa vigente. In tal caso il geosintetico, oltre a fungere da rinforzo orizzontale, viene ripiegato a sacco a chiudere frontalmente il materiale di riempimento. Il contenimento durante la rullatura è garantito da casseri mobili, il cui posizionamento a scalare verso l'alto determinerà la pendenza finale del fronte. L'impiego di geosintetici a maglia aperta è migliorativo in funzione della crescita delle piante e del cotico erboso. Per problemi di trattenimento dello strato di terreno vegetale fronte esterno vengono abbinati al geosintetico georeti tridimensionali sintetiche o biofeltri e biostuoie in fibra vegetale;
- con griglia metallica e geosintetici: l'armatura del rilevato è costituita da un geosintetico con resistenza a trazione non inferiore a 25 KN/m; sul fronte esterno viene posizionata una rete metallica elettrosaldata che funge da cassero con maglie differenziate di ∅ da 6 mm a 9 mm; la rete metallica è rivestita da un geotessile composito per il trattenimento del terreno e base d'appoggio della vegetazione che dovrà consentire la trasparenza alla radicazione delle piante erbacee; lo spessore degli strati non potrà superare i 65 cm. Le specifiche del geosintetico di rinforzo devono presentare caratteristiche conformi al punto a);
- con griglia e armatura metallica: le armature vengono realizzate con lamine metalliche di lunghezza variabile, ad aderenza migliorata mediante rilievi trasversali in numero non inferiore a 24/m su entrambe le facce, in acciaio zincato a caldo di sezione minima di 5 x 45 mm vincolate a griglie frontali in rete metallica elettrosaldata inclinata di circa 63°, che funge da cassero, in acciaio zincato a caldo con maglia minima di 10x10 cm di diametri differenziati da 6 mm a 14 mm, rivestite all'interno da una biostuoia o da un biofeltro e/o da una geostuoia tridimensionale in materiale sintetico con elevate caratteristiche di resistenza agli agenti chimici e atmosferici.
- con pannello in calcestruzzo e armatura metallica: le armature sono come al punto precedente e sono collegate con un sistema di pannelli in cls formati da piastre inclinate e contrafforti d'appoggio verticali ad incastro.

Fig. 14.62 - *Terra rinforzata rivegetata*



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.63 - *Terra rinforzata rivegetata*

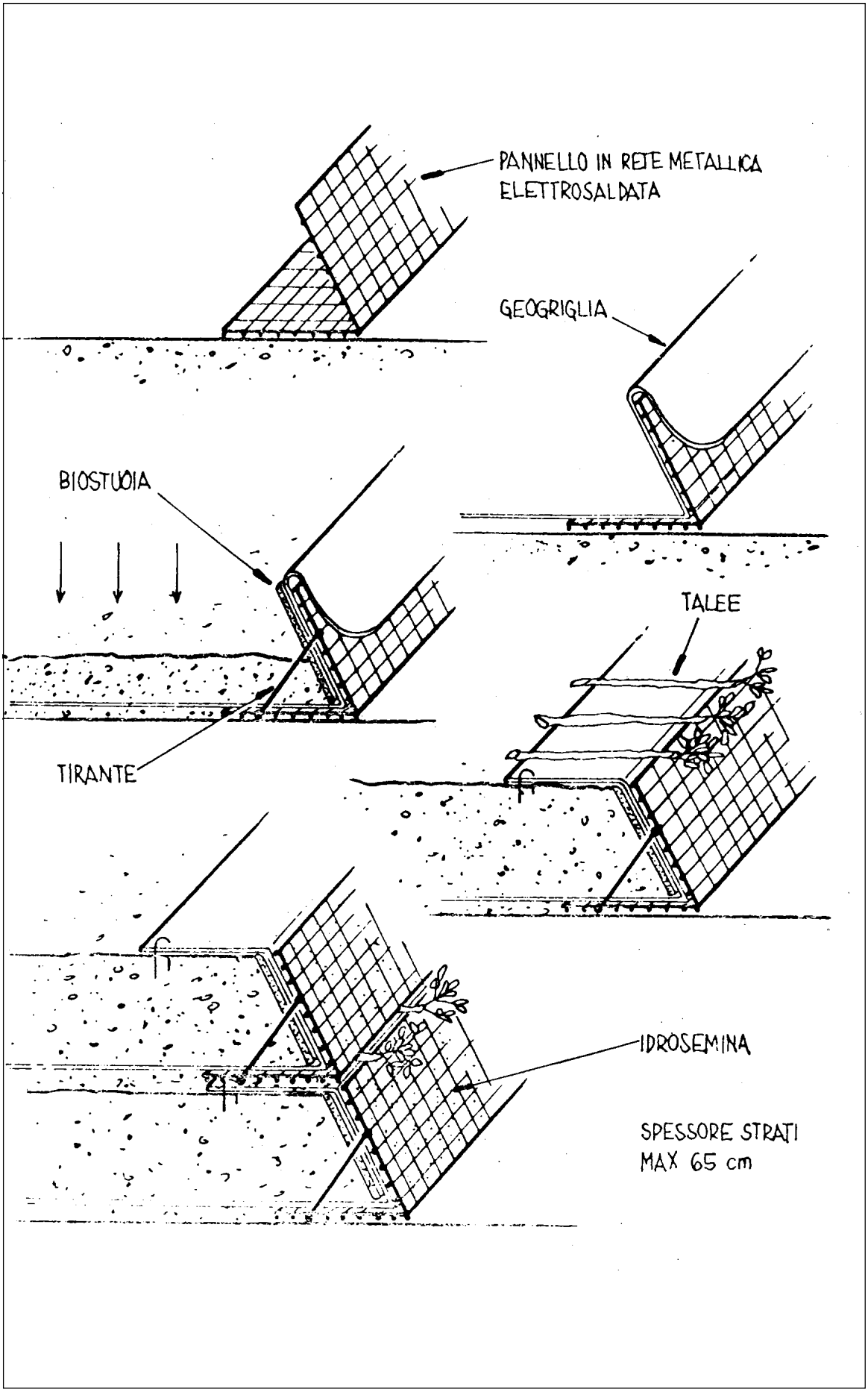


Fig. 14.64 - *Terra rinforzata rivegetata*

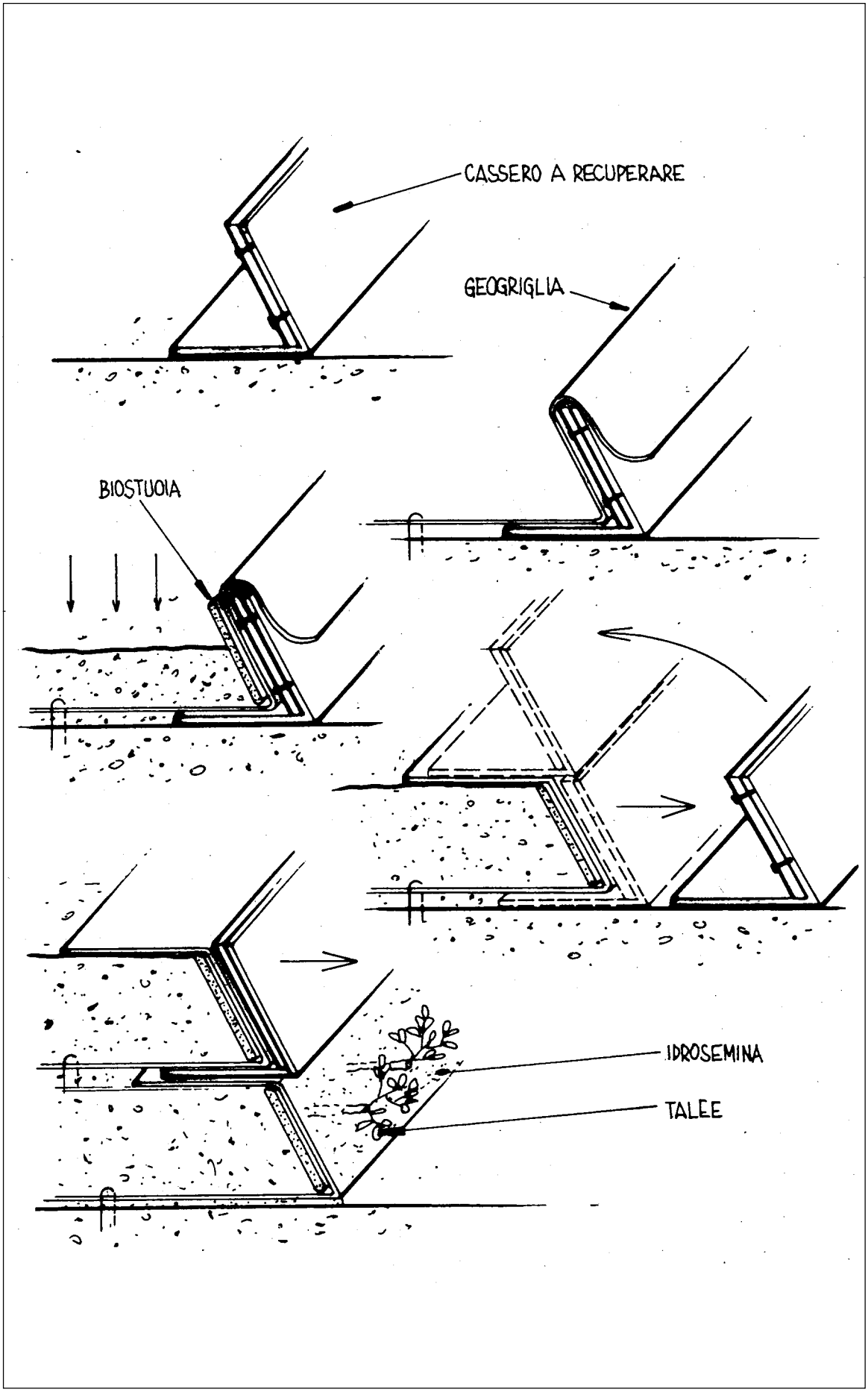


Fig. 14.65 - *Terra rinforzata rivegetata*

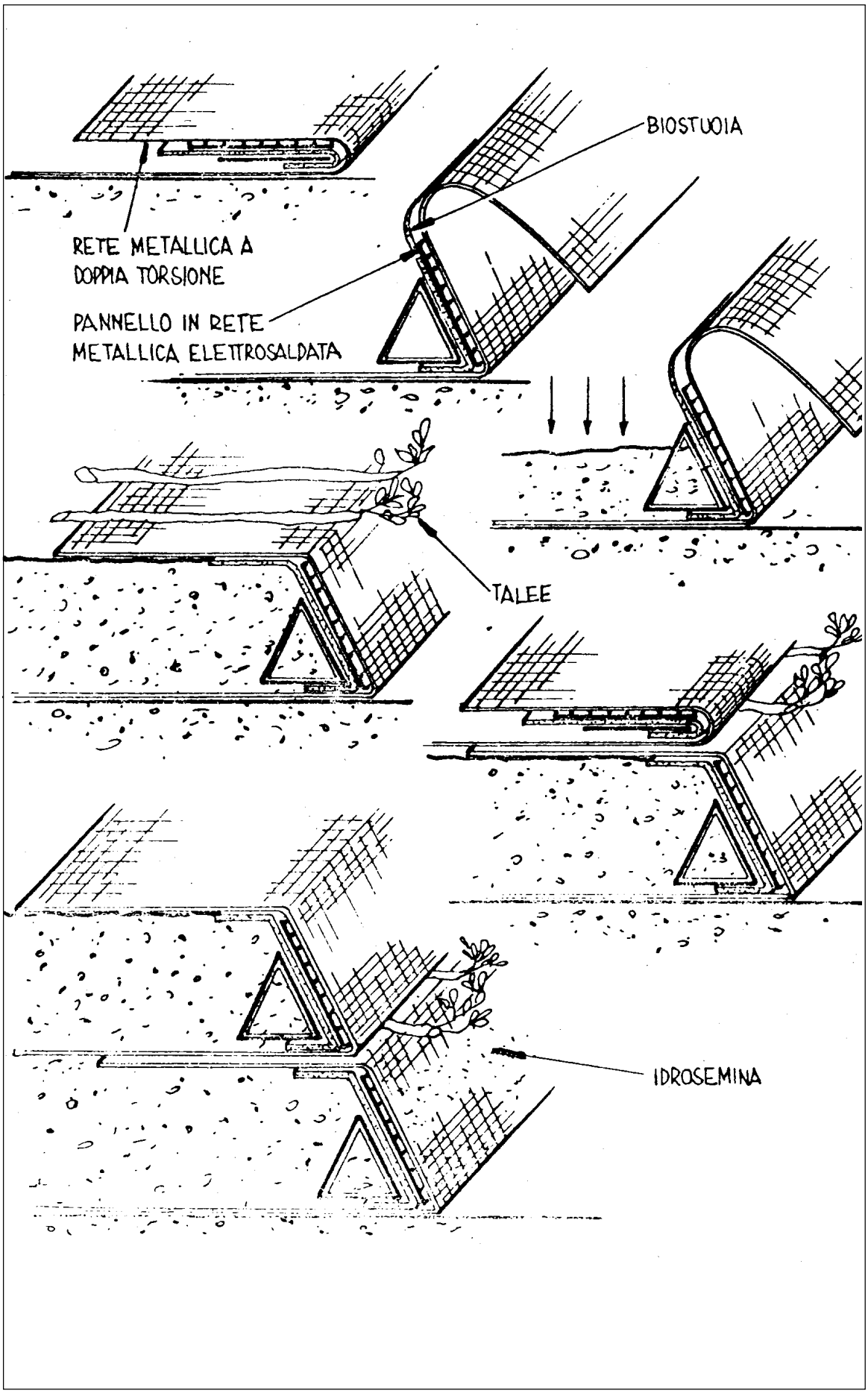
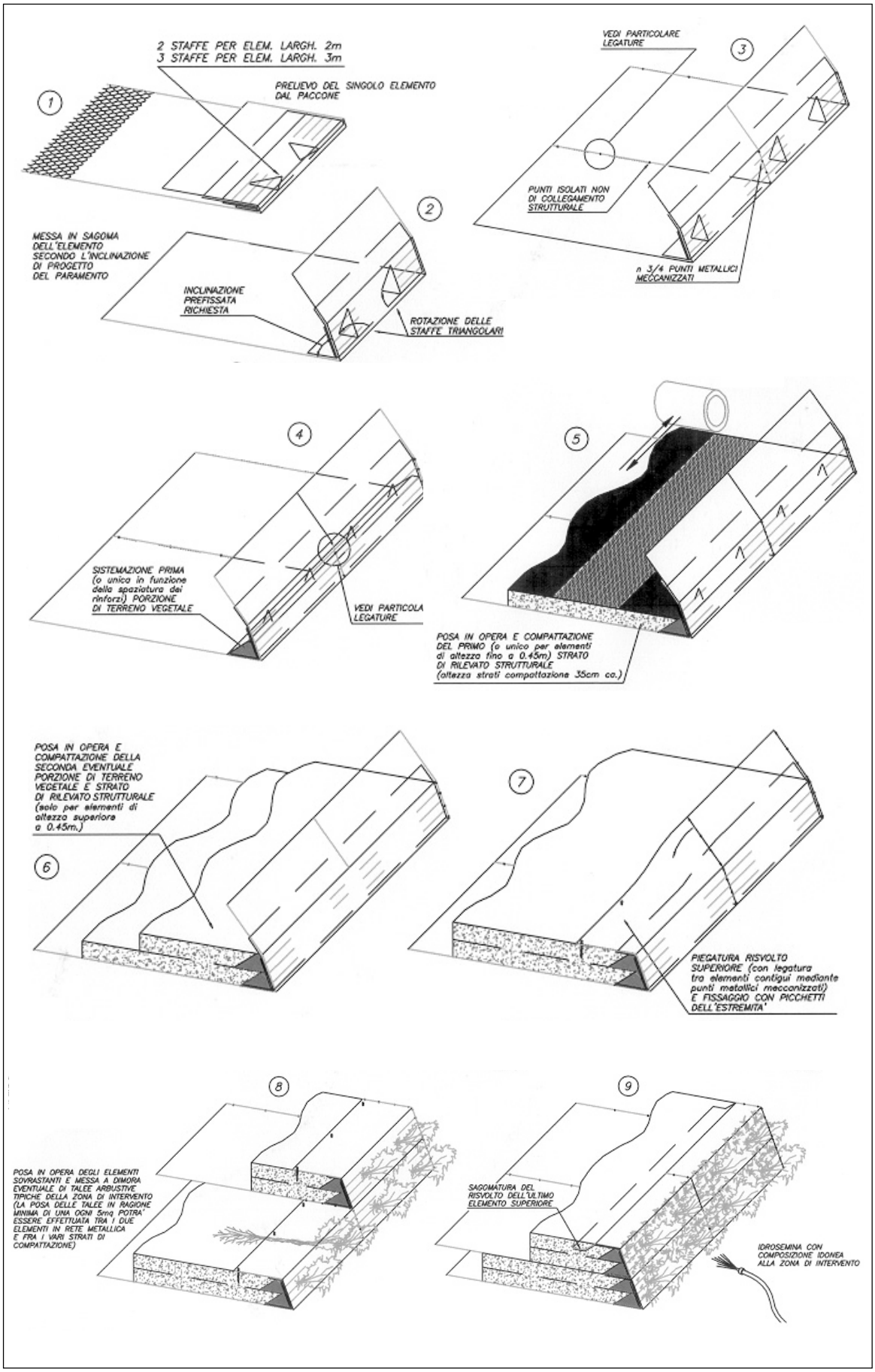
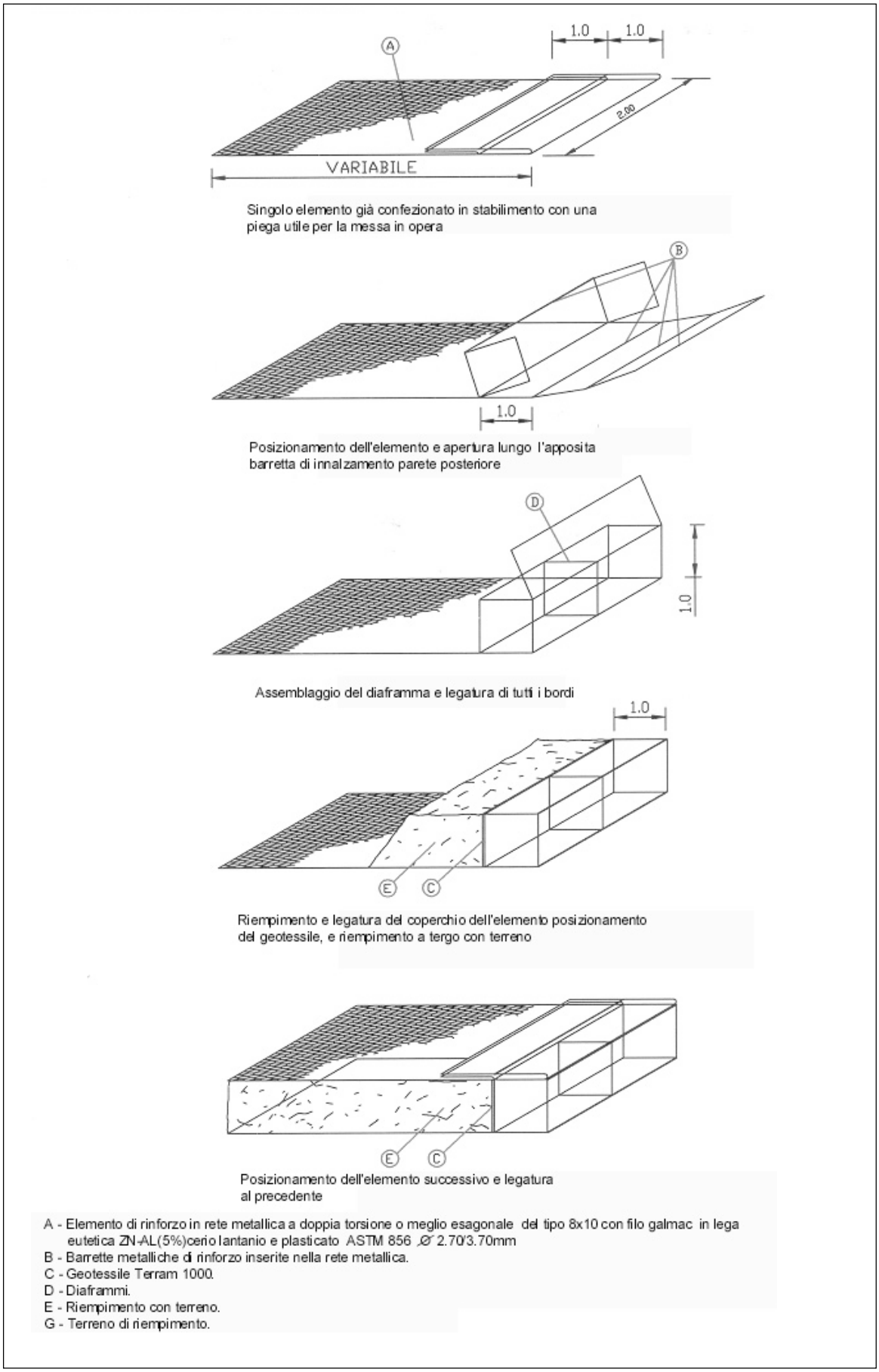


Fig. 14.66 - *Terra rinforzata rivegetata*


2 STAFFE PER ELEM. LARGH. 2m
3 STAFFE PER ELEM. LARGH. 3m
PRELIEVO DEL SINGOLO ELEMENTO DAL PACCONE
1
2
MESSA IN SAGOMA DELL'ELEMENTO SECONDO L'INCLINAZIONE DI PROGETTO DEL PARAMENTO
INCLINAZIONE PREFISSATA RICHIESTA
ROTAZIONE DELLE STAFFE TRIANGOLARI
VEDI PARTICOLARE LEGATURE
3
PUNTI ISOLATI NON DI COLLEGAMENTO STRUTTURALE
n 3/4 PUNTI METALLICI MECCANIZZATI
4
SISTEMAZIONE PRIMA (o unica in funzione della spaziatura dei rinforzi) PORZIONE DI TERRENO VEGETALE
VEDI PARTICOLA LEGATURE
5
POSA IN OPERA E COMPATTAZIONE DEL PRIMO (o unico per elementi di altezza fino a 0.45m) STRATO DI RILEVATO STRUTTURALE (altezza strati compattazione 35cm ca.)
POSA IN OPERA E COMPATTAZIONE DELLA SECONDA EVENTUALE PORZIONE DI TERRENO VEGETALE E STRATO DI RILEVATO STRUTTURALE (solo per elementi di altezza superiore a 0.45m.)
6
7
PIEGATURA RISVOLTO SUPERIORE (con legatura tra elementi contigui mediante punti metallici meccanizzati) E FISSAGGIO CON PICCHETTI DELL'ESTREMITA'
8
POSA IN OPERA DEGLI ELEMENTI SOVRASTANTI E MESSA A DIMORA EVENTUALE DI TALEE ARBUSTIVE TIPICHE DELLA ZONA DI INTERVENTO (LA POSA DELLE TALEE IN RAGIONE MINIMA DI UNA OGNI 5mq POTRA' ESSERE EFFETTUATA TRA I DUE ELEMENTI IN RETE METALLICA E FRA I VARI STRATI DI COMPATTAZIONE)
9
SAGOMATURA DEL RISVOLTO DELL'ULTIMO ELEMENTO SUPERIORE
IDROSEMINA CON COMPOSIZIONE IDONEA ALLA ZONA DI INTERVENTO

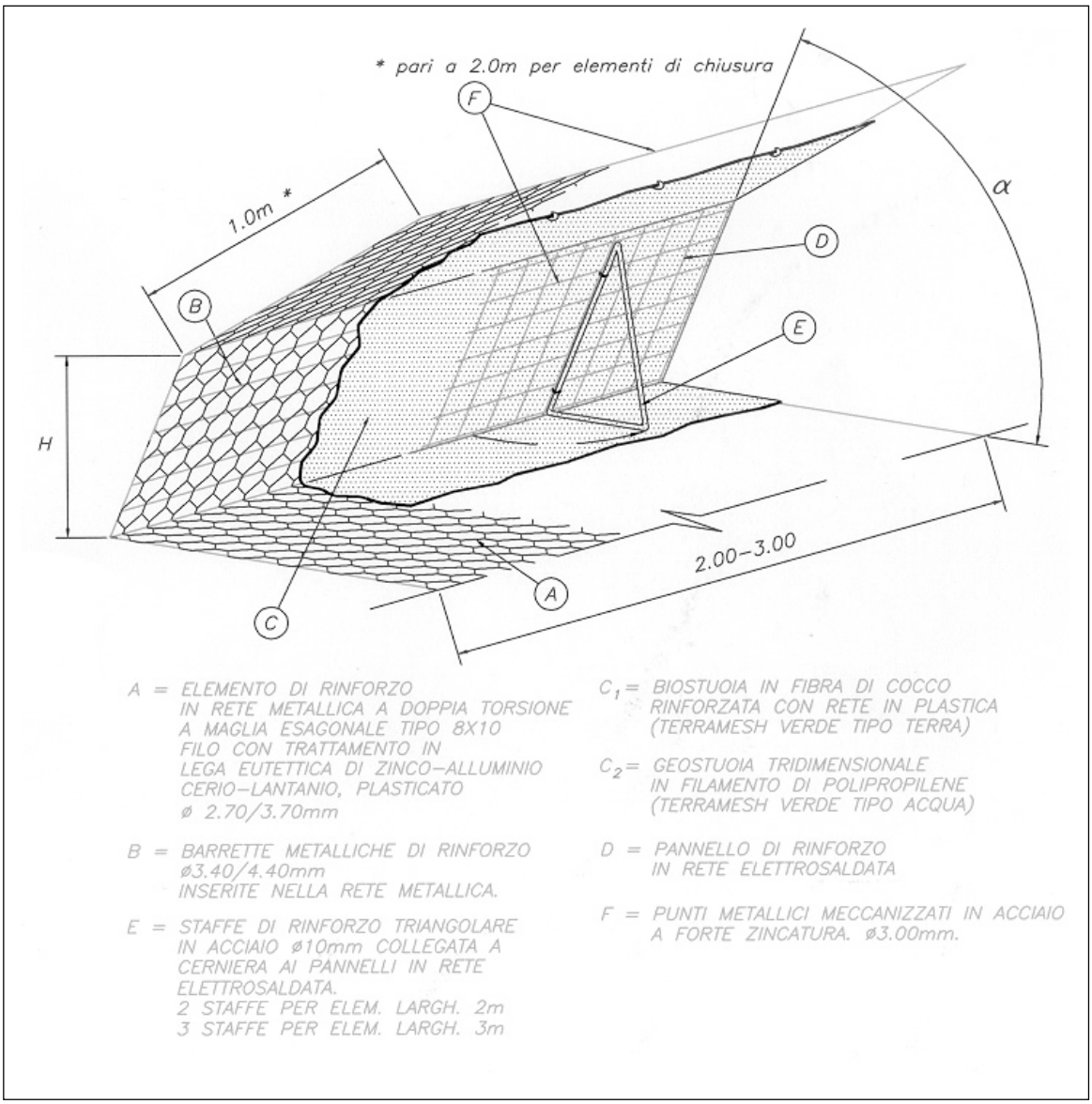
Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.67 - *Terra rinforzata rivegetata*


1.0
1.0
A
2.00
VARIABILE
Singolo elemento già confezionato in stabilimento con una piega utile per la messa in opera
B
1.0
Posizionamento dell'elemento e apertura lungo l'apposita barretta di innalzamento parete posteriore
D
1.0
Assemblaggio del diaframma e legatura di tutti i bordi
1.0
E
C
Riempimento e legatura del coperchio dell'elemento posizionamento del geotessile, e riempimento a tergo con terreno
E
C
Posizionamento dell'elemento successivo e legatura al precedente
A - Elemento di rinforzo in rete metallica a doppia torsione o meglio esagonale del tipo 8x10 con filo galmac in lega eutetica ZN-AL(5%)cerio lantanio e plasticato ASTM 856 Ø 2.70/3.70mm
B - Barrette metalliche di rinforzo inserite nella rete metallica.
C - Geotessile Terram 1000.
D - Diaframmi.
E - Riempimento con terreno.
G - Terreno di riempimento.

Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.68 - *Terra rinforzata rivegetata: particolare costruttivo*


* pari a 2.0m per elementi di chiusura
F
1.0m *
α
D
B
E
H
2.00–3.00
A
C
A = ELEMENTO DI RINFORZO IN RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE A MAGLIA ESAGONALE TIPO 8X10 FILO CON TRATTAMENTO IN LEGA EUTETTICA DI ZINCO–ALLUMINIO CERIO–LANTANIO, PLASTICATO ø 2.70/3.70mm
B = BARRETTE METALLICHE DI RINFORZO ø3.40/4.40mm INSERITE NELLA RETE METALLICA.
E = STAFFE DI RINFORZO TRIANGOLARE IN ACCIAIO ø10mm COLLEGATA A CERNIERA AI PANNELLI IN RETE ELETTROSALDATA.
2 STAFFE PER ELEM. LARGH. 2m
3 STAFFE PER ELEM. LARGH. 3m
C1 = BIOSTUOIA IN FIBRA DI COCCO RINFORZATA CON RETE IN PLASTICA (TERRAMESH VERDE TIPO TERRA)
C2 = GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE IN FILAMENTO DI POLIPROPILENE (TERRAMESH VERDE TIPO ACQUA)
D = PANNELLO DI RINFORZO IN RETE ELETTROSALDATA
F = PUNTI METALLICI MECCANIZZATI IN ACCIAIO A FORTE ZINCATURA. ø3.00mm.

Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

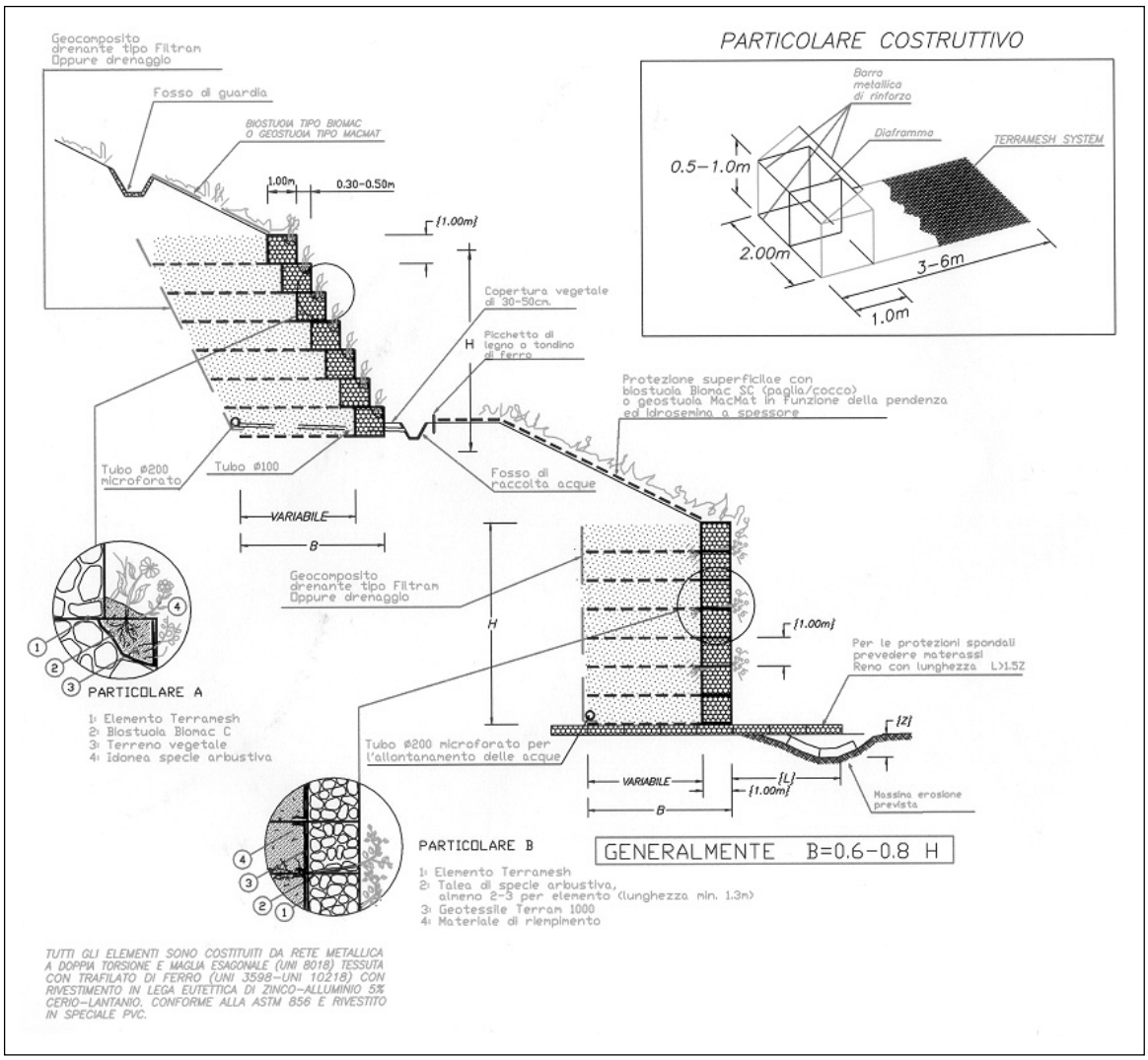
Le piastre sono inclinate di circa 70° rispetto all'orizzontale a formare, mediante la loro sovrapposizione a quinconce, dei contenitori che vengono riempiti di terra vegetale. Il metodo presenta rispetto ai muri cellulari i seguenti vantaggi:

- un'inclinazione complessiva massima del muro (circa 70°) e posizionamento ad invito dei pannelli tali da ricevere e convogliare l'acqua meteorica;
- un facile apporto dall'esterno di terra vegetale ad opera realizzata, che va a contatto con l'inerte costituente il rilevato in terra armata.

• con rete metallica a doppia torsione: il paramento esterno (max 70°) e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 8 x 10 cm, tessuta con trafilato di ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018), con rivestimento in PVC o XLPE con resistenza agli UV, alte temperature ed agli altri agenti atmosferici certificati, di spessore minimo 0,4 - 0,5 mm e diametro complessivo del filo 3,7 mm circa avente resistenza nominale non inferiore a 40 kN/m; gli elementi sono di lunghezza variabile e costituiscono senza soluzione di continuità anche il paramento esterno verticale, a gradoni o inclinato, che è rinforzato da barrette metalliche inserite nella rete e da un ulteriore pannello in rete metallica a doppia torsione abbinato a un geosintetico o a un biostuoia-biofeltro che garantisca il trattenimento del materiale terroso e la crescita del cotico erboso e delle piante.

Campi di applicazione: le terre rinforzate, oltre ad essere impiegate per il consolidamento in caso di fenomeni di dilavamento e di franamento superficiale, possono essere utilizzate anche per la costruzione di terrapieni consoli-

Fig. 14.69 - *Terra rinforzata rivegetata*


PARTICOLARE COSTRUTTIVO
Barra metallica di rinforzo
Diaframma
TERRAMESH SYSTEM
0.5–1.0m
2.00m
3–6m
1.0m
Geocomposito drenante tipo Filtram Oppure drenaggio
Fosso di guardia
BIOSTUOIA TIPO BIOMAC O GEOSTUOIA TIPO MACMAT
1.00m
0.30–0.50m
1.00m
Copertura vegetale di 30–50cm.
Picchetto di legno o tondino di ferro
H
Protezione superficiale con biostuoia Biomac SC (paglia/cocco) o geostuoia MacMat in funzione della pendenza ed idrosemina a spessore
Tubo Ø200 microforato
Tubo Ø100
Fosso di raccolta acque
VARIABILE
B
Geocomposito drenante tipo Filtram Oppure drenaggio
H
1.00m
Per le protezioni spondali prevedere materassi Reno con lunghezza L>1.5Z
Z
PARTICOLARE A
1: Elemento Terramesh
2: Biostuoia Biomac C
3: Terreno vegetale
4: Idonea specie arbustiva
Tubo Ø200 microforato per l'allontanamento delle acque
VARIABILE
B
L
1.00m
Massima erosione prevista
PARTICOLARE B
GENERALMENTE B=0.6–0.8 H
1: Elemento Terramesh
2: Talea di specie arbustiva, almeno 2–3 per elemento (lunghezza min. 1.3m)
3: Geotessile Terram 1000
4: Materiale di riempimento
TUTTI GLI ELEMENTI SONO COSTITUITI DA RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE E MAGLIA ESAGONALE (UNI 8018) TESSUTA CON TRAFILATO DI FERRO (UNI 3598–UNI 10218) CON RIVESTIMENTO IN LEGA EUTETTICA DI ZINCO–ALLUMINIO 5% CERIO–LANTANIO, CONFORME ALLA ASTM 856 E RIVESTITO IN SPECIALE PVC.

Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

dati e vegetati per rilevati stradali, autostradali e ferroviari, spalle di ponti, sponde per erigere rilevati paramassi con vallo a tergo, terrapieni a forte pendenza antirumore e antiesplosione.

Fattibilità: la fattibilità è vincolata ad alcuni principi statici e costruttivi, quali la verifica geomeccanica del piano di fondazione, il dimensionamento dei materiali da impiegare in:relazione all'altezza ed alla profondità dell'opera, pendenza e caratteristiche del rilevato, selezione granulometrica degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio, loro compattazione mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante. I rinforzi devono avere una durata pari o superiore alla vita dell'opera ed una resistenza tale da garantire la stabilità interna. Per consentire alla vegetazione di ricevere l'apporto delle acque meteoriche, la pendenza massima del fronte esterno non dovrà superare i 60° ÷ 70° e la struttura dovrà presentare uno strato vegetale a contatto con il paramento esterno.

Materiali impiegati:
- terreno di riempimento (materiali inerti);
- terreno organico;
- armature in rete metallica zincata o elettrosaldata;
- georete, biostuoia;
- geosintetici antierosivi;
- talee, piantine a radice nuda e/o fitocella.

Modalità di esecuzione:
- formazione di uno scavo di fondazione e inserimento del primo elemento prefabbricato;
- l'elemento scatolare viene realizzato mediante risvolto frontale della rete metallica a doppia torsione solidale con l'elemento di rinforzo orizzontale; nella parte frontale la rete è rivestita da stuoia organica o sintetica;
- inserimento delle talee di salice nella maglia inferiore e passanti la struttura;
- riempimento con materiale inerte di diametro superiore a quello della maglia della rete, compattazione, per strati di circa 30 cm, del

Tab. 14.42 - *Terra rinforzata rivegetata: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,3		
Operaio comune	Ora	0,3		
b) Noli:				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,2		
Autocarro				
Piastra vibrante	Ora	0,2		
Rullo compressore	Ora	0,005		
c) Materiali:				
Terra rinforzata	m^2	1,28		
Punti metallici	cad	20		
Pietrame	m^3	1,6		
Terreno vegetale	m^3	0,6		
Verghe	cad	5		
Idrosemina	m^2	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**191,09 ÷ 206,58**
			£/m^2	**370.000 ÷ 400.000**

terreno per la formazione del rilevato strutturale. Il materiale di riempimento viene lavorato a strati successivi e ogni strato viene ben compattato con un mezzo meccanico e manualmente;
- l'inserimento di una stuoia a tergo del cassero in rete metallica garantisce il trattenimento del materiale più fino, pur con il mantenimento dell'effetto drenante della struttura.
  Per terre rinforzate spondali la biostuoia verrà sostituita con una stuoia sintetica tridimensionale;
- riempimento nella parte frontale con terreno vegetale;
- messa a dimora di arbusti radicati previo taglio di alcune maglie;
- i moduli superiori e laterali vengono assicurati tra loro con punti metallici adeguati;
- al termine della realizzazione della struttura viene eseguita una idrosemina, possibilmente arricchita in fibra vegetale (idrosemina a spessore).

Descrizione di alcune tipologie più frequentemente impiegate:
- *terra rinforzata con geosintetico e cassero a perdere in griglia metallica*: l'armatura utilizzata per la realizzazione del rilevato è costituita da un geosintetico (resistenza alla trazione uguale o superiore a 25 KN/m), posizionato alla base di ogni strato sovrapposto da una rete metallica elettrosaldata (0 = 6 ÷ 9 mm) con funzione di cassero a perdere. La rete metallica viene rivestita con una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina. Lo spessore degli strati non dovrà superare i 65 cm;
- *terra rinforzata con geosintetico e cassero mobile*: si utilizza un tessuto geosintetico (poliestere, polipropilene, ecc.) con alta resistenza alla trazione (tra 20 e 1.000 KN/m). Il geotessuto svolge la funzione di rinforzo orizzontale e, una volta ripiegato a sacco, anche di contenimento frontale dell'inerte al momento del recupero del cassero per la formazione dello strato successivo. Tra il geosintetico ed il terreno compattato viene posta sul paramento esterno una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina;
- *terra rinforzata con rete metallica a doppia torsione*: la casseratura e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale (tipo 8 x 10, come da norma UNI 8018).
  Il cassero è costituito da un elemento preconfezionato di lunghezza variabile che contiene una biostuoia e viene montato in cantiere. Una volta aperto sul piano di posa il pannello ed irrigidito con gli appositi tiranti, si procede al riporto del terreno ed alla sua compattazione. La biostuoia posizionata sul paramento esterno fungerà da supporto all'idrosemina.

Prescrizioni:
- per un miglior risultato la raccolta e l'inserimento di materiale vegetale vivo deve avvenire durante il periodo di riposo vegetativo.
- le talee devono al meglio avere una lunghezza tale da passare attraverso l'intera struttura e toccare il terreno retrostante, e comunque lunghezza non inferiori a 1,5 ÷ 2 m;
- per una buona riuscita della vegetazione le talee devono essere inserite in fase di costru-

zione e poste nella prima maglia inferiore di ogni modulo;
- nel caso di forzata messa a dimora a posteriori delle talee, esse devono comunque essere inserite nella stagione adatta successiva alla costruzione. L'inserimento dovrà avvenire rispettando il verso di crescita e per almeno 50 cm di profondità. La parte fuori terra dovrà essere potata a circa 10 ÷ 15 cm.

Limiti di applicabilità: per garantire l'attecchimento e la crescita delle piante e del cotico erboso, i fronti dovranno avere pendenze al massimo di 60°, per consentire l'apporto di acque meteoriche. Il solo cotico erboso deperisce nel tempo e non garantisce la funzione antierosiva del cuneo di terra vegetale, che tende a dilavarsi quando le stuoie perdono la loro funzione, risulta pertanto indispensabile l'inserimento di talee e arbusti radicati.

Vantaggi:
- i manufatti risultano avere un'elevata durata temporale;
- possibilità di ricostruire pendenze di versanti superiori agli angoli di riposo del materiale impiegato;
- la costruzione per moduli consente di ottenere illimitate forme, adattate alle condizioni locali del terreno.

Svantaggi:
- costi elevati;
- volumi di sbancamento notevoli;
- i materiali di rinforzo non sono biodegradabili;
- sono impiegate qualora vi sia un buon terreno di fondazione.

Effetto: struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

Periodo di intervento: il materiale vivo dovrà essere inserito nel periodo di riposo vegetativo. La struttura delle terre rinforzate può essere realizzata in qualsiasi momento dell'anno anche se è raccomandabile l'inserimento delle talee e la piantagione di arbusti in fase di costruzione.

Possibili errori:
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- mancato inserimento di talee di salice;
- insufficiente portanza del terreno di base.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.42.**

14.3.12 Rampe a blocchi

Descrizione sintetica: consolidamento del fondo dell'alveo di un fiume in pietrame di grosse dimensioni in sostituzione delle briglie e dei tratti di salto. Tale struttura risulta più funzionale anche alla risalita dei pesci. Può essere realizzata sia come *by-pass* laterale a una briglia, sia come fondazione alla base della briglia, sia lungo l'alveo del corso d'acqua (**figg. 14.70a-14.75**).

Descrizione da voce di capitolato: consolidamento di fondo di corso d'acqua in tratti di salto mediante pietrame o massi di diametro variabile a seconda dei parametri idraulici da 0,4 a 1(2) m, disposto a rampa su 1 ÷ 2 file di massi fissati ulteriormente da file di piloti in acciaio o in legno di dimensioni tali da garantire la funzione di bloccaggio e la durata. La rampa è sostitutiva delle briglie e dei salti di fondo in calcestruzzo e garantisce gli spostamenti di risalita dei pesci e di altra fauna acquatica.
La rampa a blocchi può essere realizzata:
- lungo la sezione principale di deflusso e in tal caso verrà creato un allargamento consolidato con pietrame nel punto di inserzione tra la rampa e la sponda;
- quale *by-pass* laterale al corso principale in presenza di una preesistente briglia in calcestruzzo o altro sbarramento trasversale. In tal caso si collocano i massi al fine di creare diversi piccoli bacini a vari livelli in modo da consentire a tutta la fauna ittica di risalire l'ostacolo. La pendenza non dovrà superare il rapporto 1:10 e il dislivello tra due bacini contigui i 20 ÷ 25 cm. I massi principali vanno collocati in piedi e fissati con putrelle o tondini in acciaio (va evitato il calcestruzzo) le vasche vanno riempite di pietrisco e ghiaia di ∅ 20 ÷ 30 cm.

Campi di applicazione: alvei di corsi d'acqua a bassa pendenza e con fondo ghiaioso e sabbioso. Alla base o a lato di briglie.

Materiali impiegati:
- massi ∅ 0,4 ÷ 1 m;
- pali in legno ∅ 25 cm, L = 2,5 m;
- tondini in acciaio ∅ 24 mm di dimensioni tali da garantire il bloccaggio dei massi.

Modalità di esecuzione:
- posizionamento dei massi nell'alveo del corso d'acqua, profondamente interrati nel fondo. La collocazione dei massi dovrà avvenire a vari livelli per consentire alla fauna ittica di risalire l'ostacolo;
- nel posizionamento dei massi si dovrà seguire la pendenza naturale dell'alveo e il dislivello tra la base e l'apice non dovrà essere superiore a 20 ÷ 25 cm;
- nel caso di dislivelli eccessivi si provvederà alla realizzazione di una serie di rampe poste a una distanza di 1,5 ÷ 2,5 m l'una dall'altra;
- se necessario il pietrame viene consolidato con tondini in acciaio infissi nel fondo e posto su un letto di ghiaia per favorirne l'assestamento.

Vantaggi:
- consolidamento immediato del fondo alveo;
- rappresenta una via funzionale alla risalita del corso d'acqua da parte della fauna ittica;

Tab. 14.43 - *Rampe a blocchi: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,5		
b) Noli:				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,4		
Autocarro	Ora	0,1		
c) Materiali:				
Pietrame	Kg	2.600		
Piloni	cad	1		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m²**	**74,89 ÷ 77,47**
			£/m²	**145.000 ÷ 150.000**

Fig. 14.70a - *Rampe a blocchi: pianta*

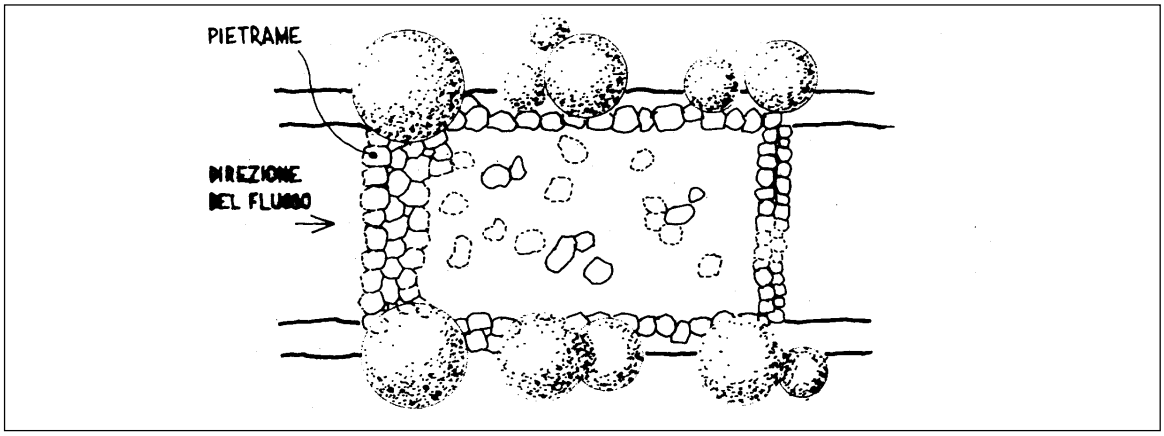


Fig. 14.70b - *Rampe a blocchi: sezioni*

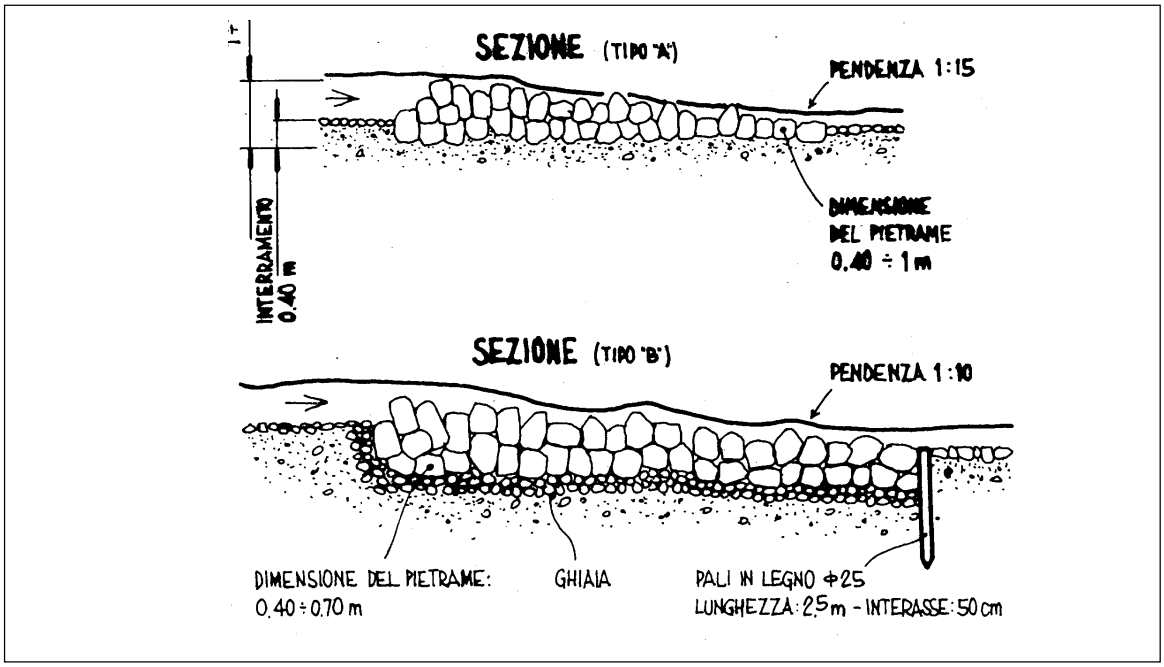
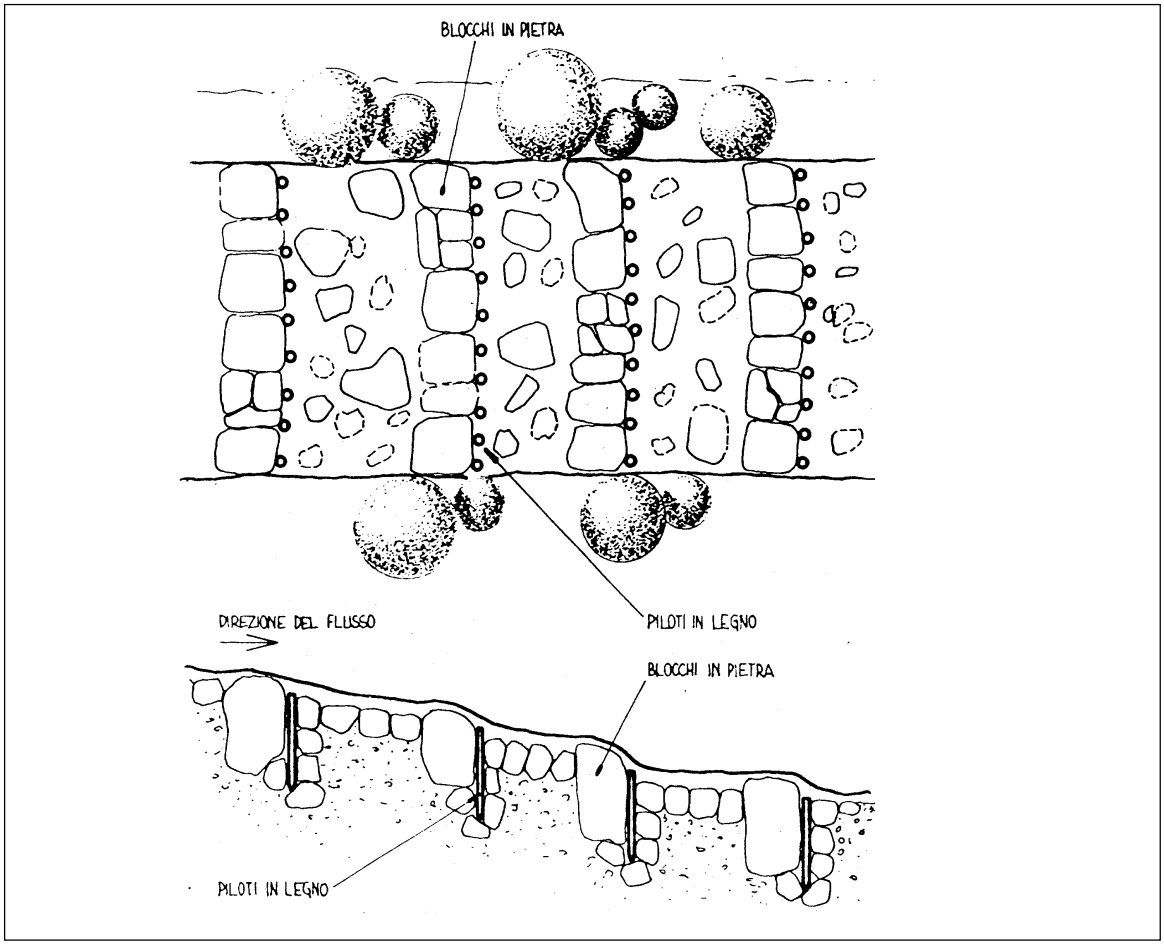

SEZIONE (TIPO "A")
PENDENZA 1:15
DIMENSIONE DEL PIETRAME 0.40 ÷ 1 m
INTERRAMENTO 0.40 m
SEZIONE (TIPO "B")
PENDENZA 1:10
DIMENSIONE DEL PIETRAME: 0.40 ÷ 0.70 m
GHIAIA
PALI IN LEGNO Φ25 LUNGHEZZA: 2.5 m - INTERASSE: 50 cm

Fig. 14.71 - *Rampe a blocchi: sezioni*



• associa le esigenze di carattere ecologico a quelle di messa in sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

Svantaggi:
• non possono avere pendenza >15% e non possono essere molto lunghe (limite di applicabilità);
• il pietrame utilizzato è di grandi dimensioni (fino ad un metro di diametro).

Effetti:
• eliminazione del salto della briglia (continuità biologica);
• funzione idraulica a volte migliorata.

Periodo di intervento: in qualsiasi periodo dell'anno escluso quello di riproduzione della fauna ittica.

Manutenzione e durata dell'opera: è un'opera in grado di autosostenersi e autopulirsi, ma in situazioni idrologiche particolari potrà essere necessaria una manutenzione al fine di ripulire la rampa dal materiale grossolano depositato e controllare la stabilità dei massi. Particolare attenzione dovrà essere posta al pietrame ubicato a monte e a valle, nonché a quello di raccordo con le sponde fluviali.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.43**.

Scheda di approfondimento per le rampe: nella **tabella 14.44** le rampre vengono ordinate secondo il punto di vista funzionale ed ecologico senza prendere in considerazione le condizioni stazionali, che possono limitare l'impiego delle singole tecniche (**figg. 14.79-14.84**).

14.3.13 Briglia in legname e pietrame

Funzioni: consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

Descrizione: la briglia viene costruita secondo gli schemi classici, ma si utilizzano legname e pietrame come materiali alternativi in sostituzione di briglie in gabbioni e in cls (**fig. 14.85**).

Descrizione da voce di capitolato: briglia viva in legname e pietrame di consolidamento, di modeste dimensioni trasversali, a struttura piena, realizzata mediante:
• incastellatura di legname a parete doppia (struttura a cassone o reticolare) in tondame scortecciato, unito da chiodi e graffe metalliche zincate. la soglia sarà realizzata da travi di diametro pari a 15 ÷ 20 cm, opportunamente incastrate nelle spalle, ancorate ai pali di

Fig. 14.72 - *Rampe a blocchi*

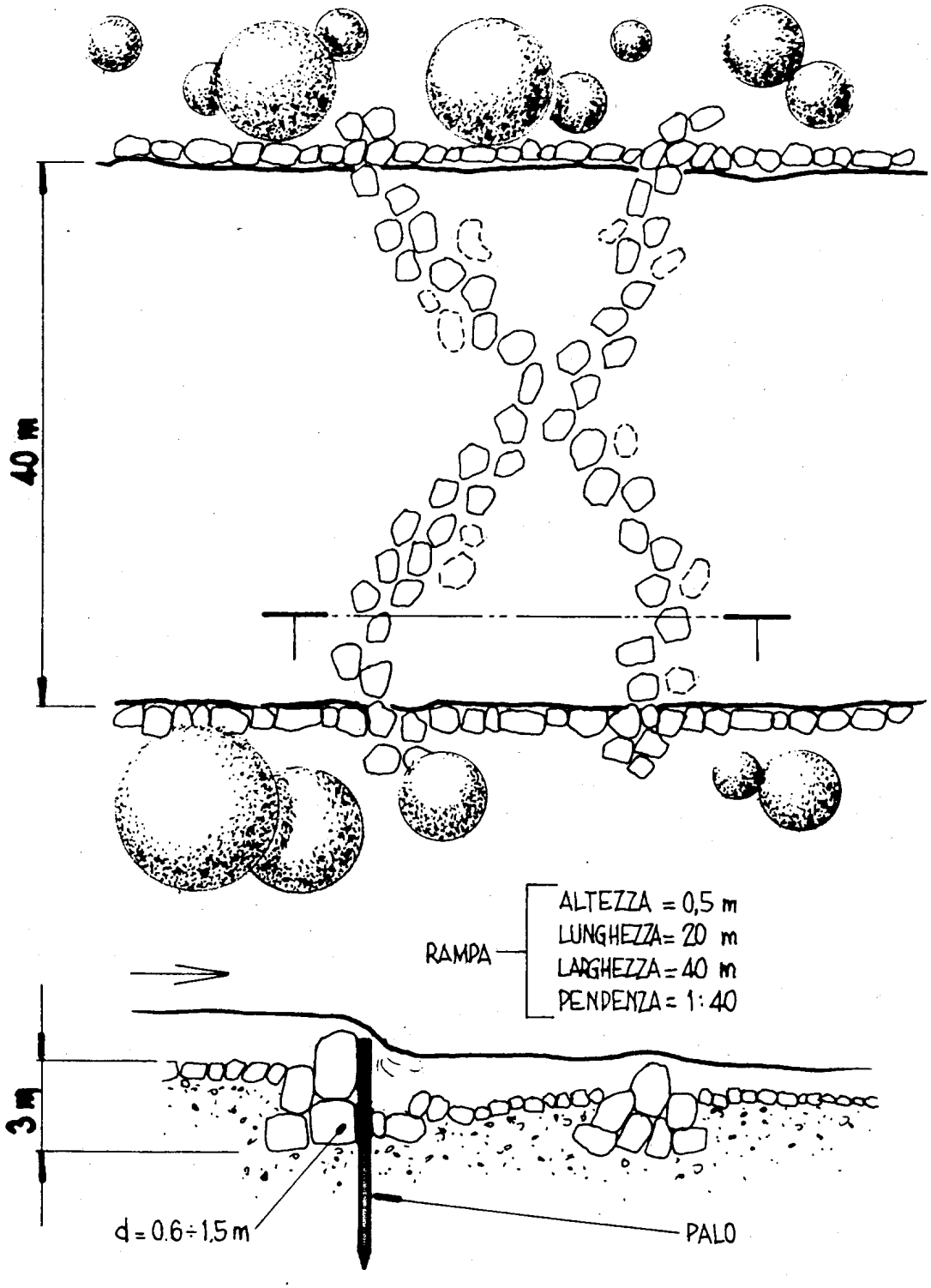


Fig. 14.73 - *Rampe a blocchi*

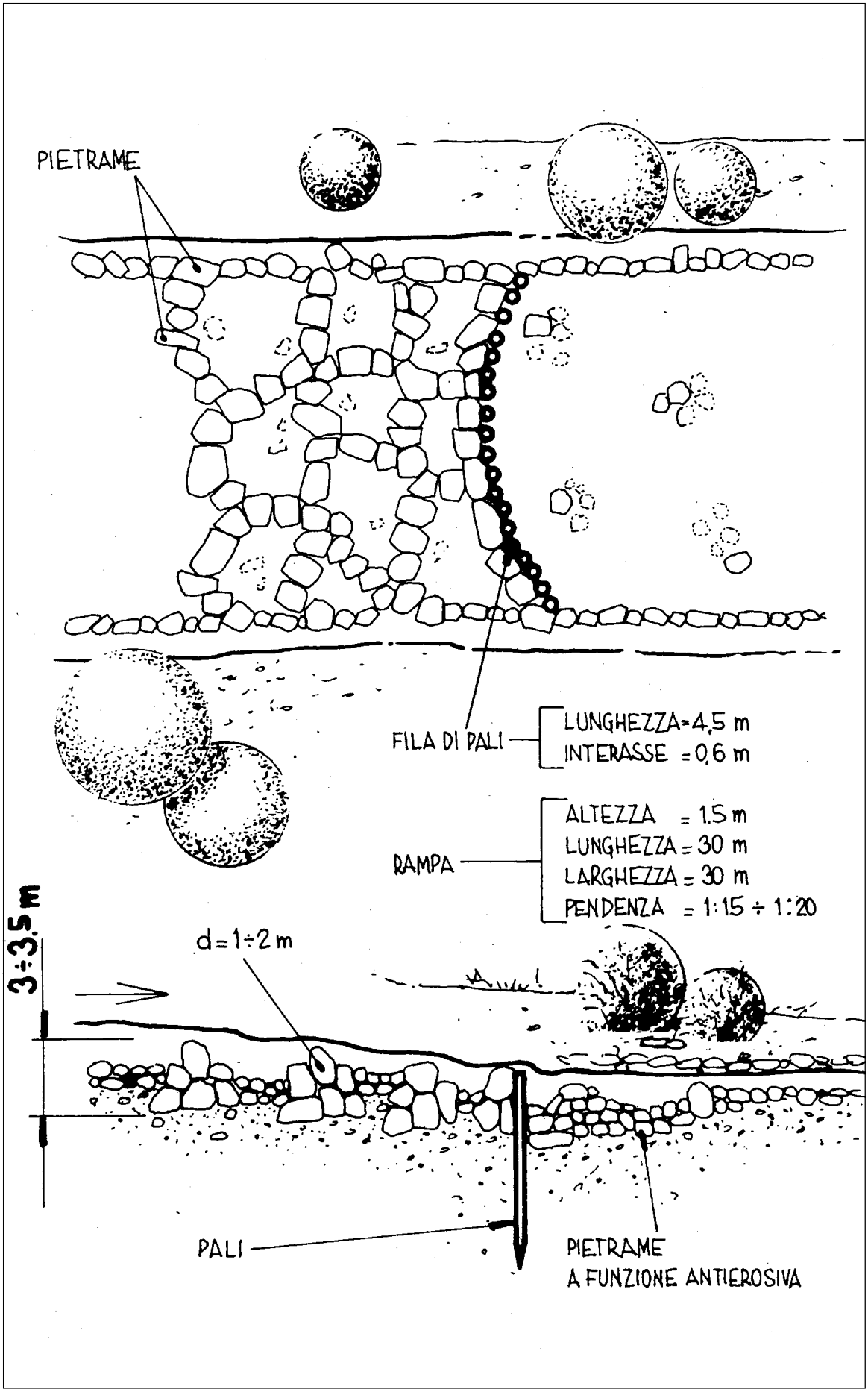


Fig. 14.74 - *Rampe a blocchi*

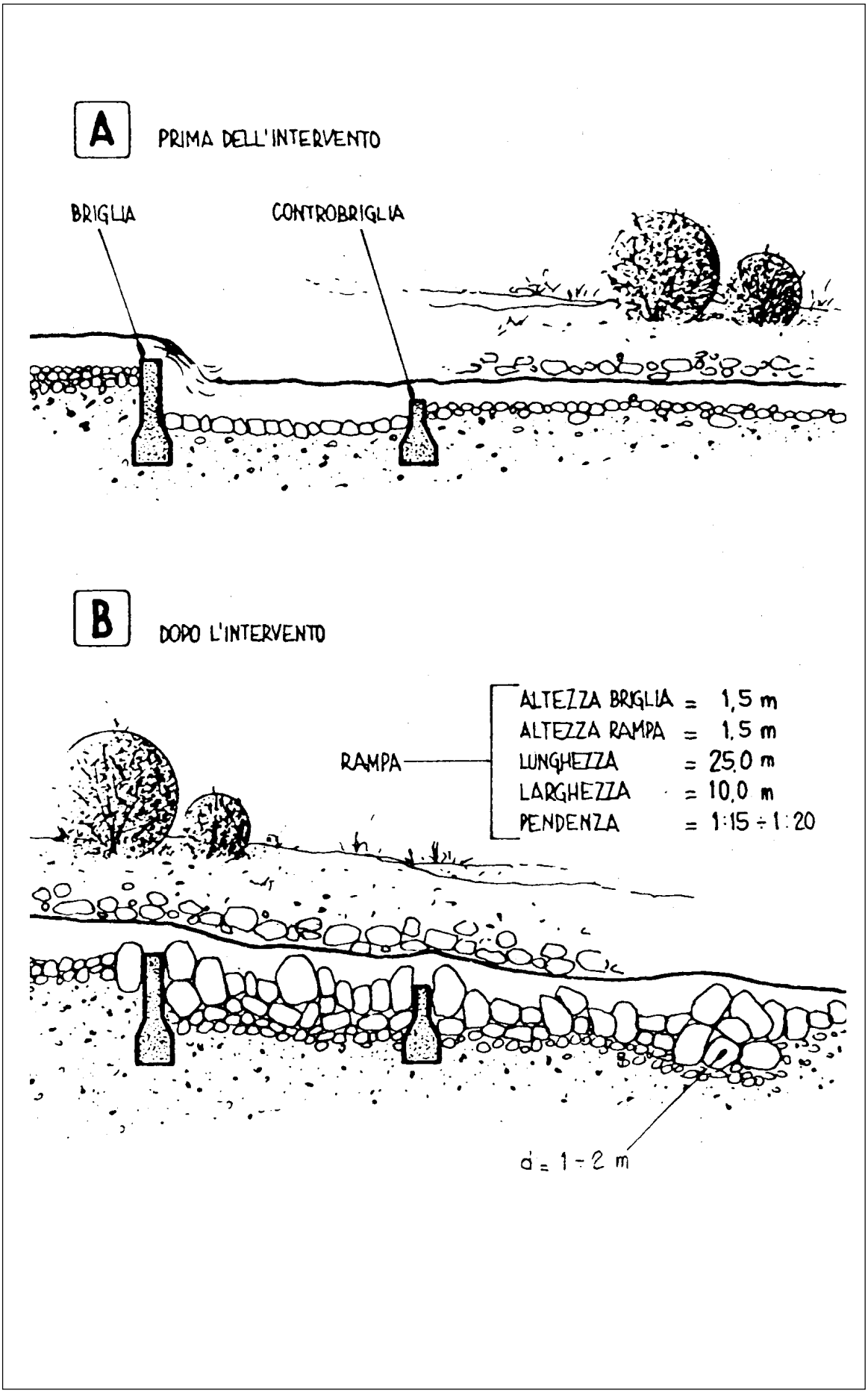
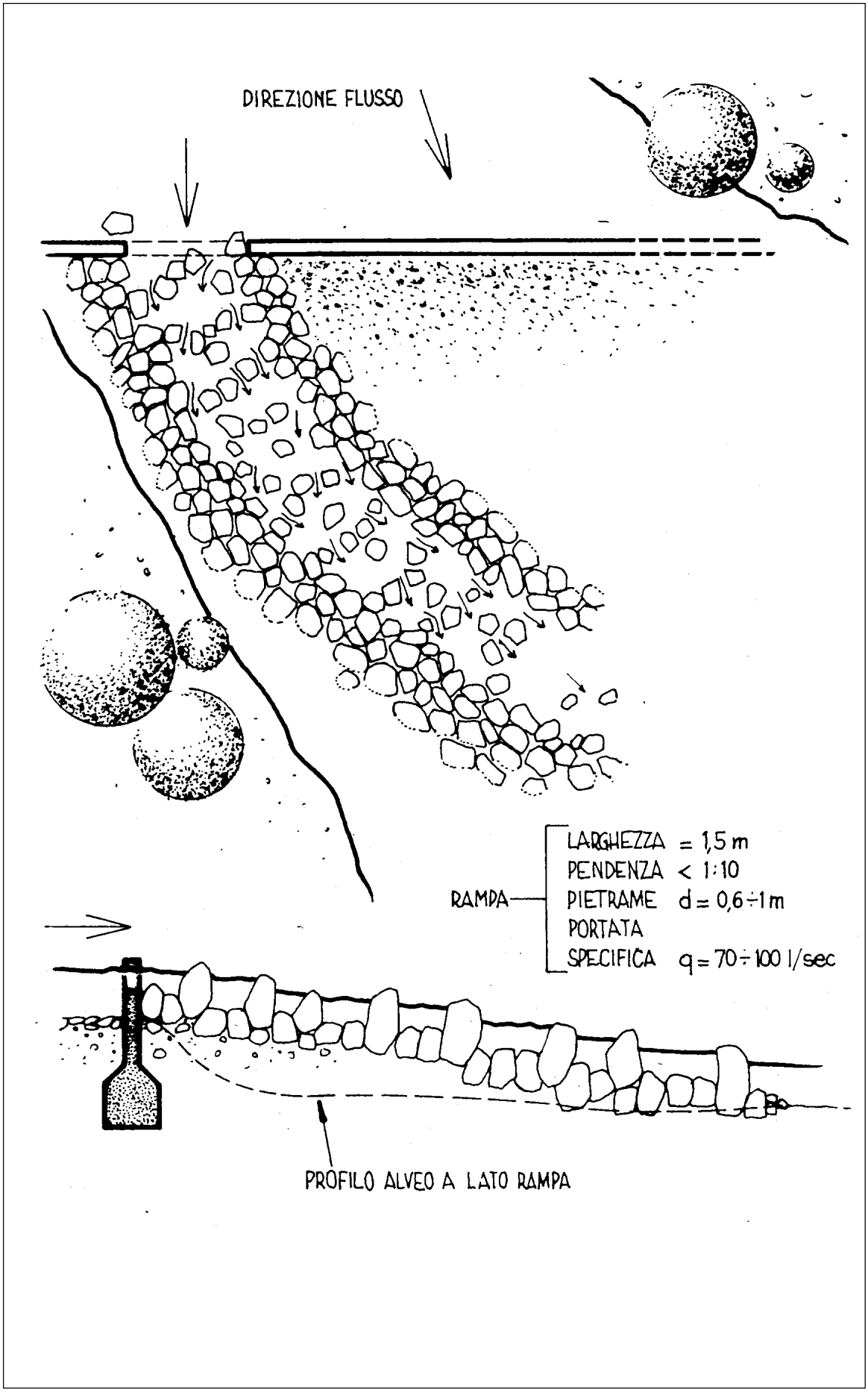


Fig. 14.75 - *Rampe a blocchi*

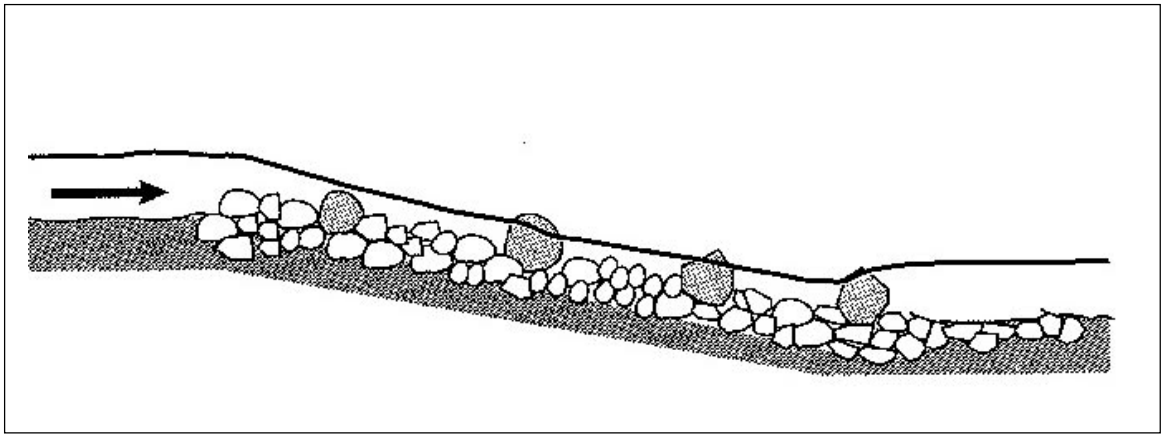


Tab. 14.44 - *Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie naturaliformi*

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Rampa in pietrame	Realizzate su tutta la larghezza del corso d'acqua con caratteristiche di forte scabrezza; sono da preferire tipologie a scarsa densità di massi o intasate di ghiaia	b= larghezza dell'alveo Pendenza < 1:15 (nel caso di pendenze maggiori realizzare l'opera con pendenze minori almeno nelle zone marginali h >0,2 m qmin 100 l/sec/m Realizzazione multistrati Necessita armatura prima della buca dopo rampa finale	Nel caso di dismissione di prese d'acqua o di sbarramenti trasversali in genere, quando è possibile rinunciare alla regolazione del livello dell'acqua Nel caso di dismissione di salti di fondo troppo pendenti Come armatura del fondo (soglia di fondo) per il controllo dell'erosione	Pericolo di disseccamento del tratto d'alveo durante il periodo di magra (in questo caso potrebbe rendersi necessaria la fugatura dei massi con cemento) Tipologia economica, buon inserimento paesaggistico, costruzione naturaliforme. Necessità manutentive minime Nessun problema di reperimento del materiale e non necessità di deviazione d'alveo durante la realizzazione	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna L'effetto di rigurgito a monte e di "buca" a valle permette il ripristino di velocità di deflusso tipiche del corso d'acqua e dei rapporti tipici con il substrato di fondo (deposito-erosione e granulometrie)
Corsi d'acqua con tratto diversivo	Aggiramento dell'opera trasversale di trattenimento con la realizzazione di un corso d'acqua naturaliforme parallelo al deflusso in zona limitrofa	B = 1,2 m H > 0,2 m I < 1:20 Lunghezza possibilmente fino alla radice dell'opera trasversale di trattenimento q_{min} 100 l/sec/m	Adatta al superamento di tutte le tipologie di sbarramento e di altezza delle stesse, se è disponibile lo spazio. Adatta anche nel caso di miglioramento di opere esistenti ed in esercizio Non adatta nel caso di obiettivi multipli e diversi di trattenimento delle acque; in questo caso necessita un'opera di convogliamento delle acque	Costi contenuti, ma richiede spazio Possono richiedere forti incisioni nei versanti e quindi combinazioni con altre tipologie d'opera; spesso sono necessari ponti o passaggi	Superabile da tutta l'idrofauna, habitat per specie di rheofili Unica tipologia che permette anche il completo aggiramento dell'opera e della zona di trattenuta dell'acqua Buon inserimento paesaggistico
Rampe di risalita per pesci	Realizzata nell'opera già esistente con la costruzione di una rampa scabra ed a minore inclinazione La rampa può essere realizzata con gettata di massi con presenza di massi di disturbo o con rampe di fondo per la riduzione delle velocità di deflusso	B > 2,0 m H > 0,3 fino 0,4 m I = 1:20 o minore q_{min} 100 l/sec/m	Adatte per piccole differenze di quota fino a circa 3,0 m da realizzare su briglie rigide (in calcestruzzo) esistenti Nel caso di molte briglie come sostituto nella forma di rampa appunto Non impiegabile nel caso di obiettivi di livello d'acqua diversificati	Tipologie a volte costose, forti esigenze di sicurezza idraulica locale Pericolo di disseccamento nel periodi di magra (in questo caso è necessaria la fugatura dei massi con cemento) Buone capacità autopulenti nel caso di piena Buona capacità di deflusso e convogliamento	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna

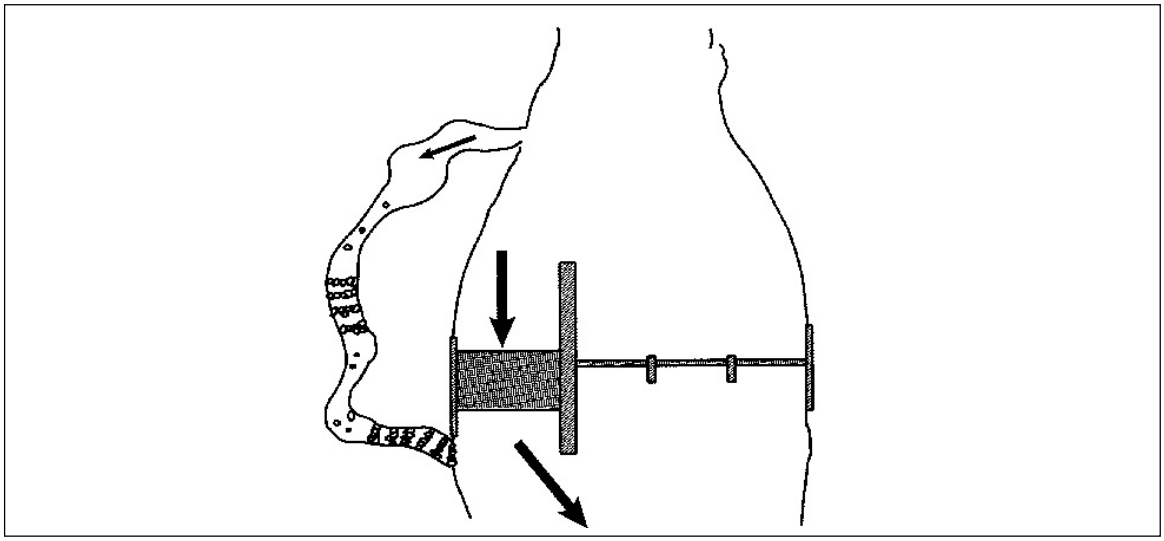
(*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

Fig. 14.76 - *Tipologia 1: rampe in pietrame*



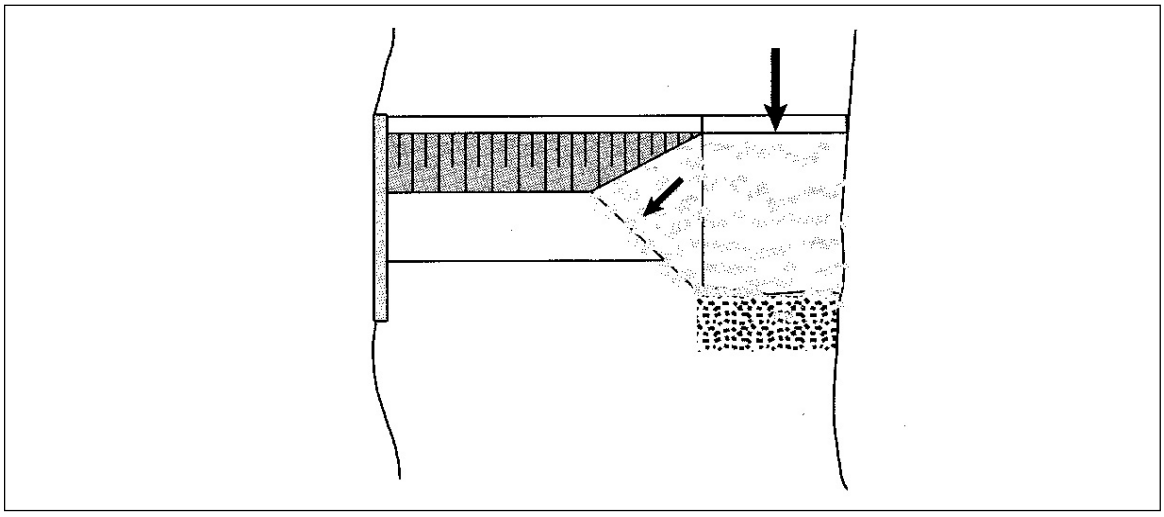
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Fig. 14.77 - *Tipologia 2: corsi d'acqua con tratto diversivo*



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Fig. 14.78 - *Tipologia 3: rampe di risalita per i pesci*



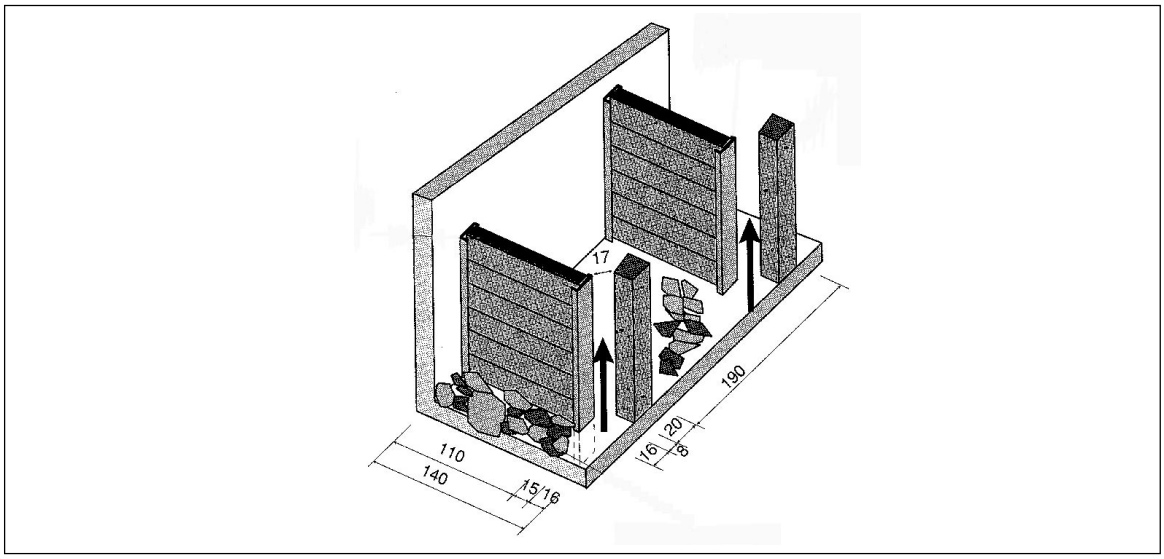
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Tab. 14.45 - *Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie tecniche*

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Scala di risalita con vasche con passaggi verticali	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con uno o due tagli verticali su tutta l'altezza dei setti posti su uno dei lati alternativamente.	Sezione l_b>1,90 m b > 1,20 m h> 0,5 m Grandezze delle fessure verticali: s > 0,17 m Q = 140 l/sec fino a diversi m^3/sec	Per piccoli e medi dislivelli; adatto anche nel caso di diversi livelli di portata come anche per piccoli fiumi o grandi corsi d'acqua. Altezza minima del tirante d'acqua in condizioni di deflusso medio = 0,5 m	Deflussi relativamente alti e di conseguenza sono raggiungibili discreti flussi. Grazie alla disposizione delle fessure a distanze ridotte si ottiene una maggiore garanzia d'efficacia rispetto ai convenzionali passaggi per pesci.	Allo stato delle conoscenze attuali tale tipologia risulta economica come tipologia tecnica, adatta per tutte le specie di pesci e nel caso di impianto di un sottofondo naturaliforme passante anche per invertebrati.
Scala di risalita a vasche con stramazzi	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con fori e gavete di deflusso poste alternativamente sui due lati dei setti	Sezione: dimensioni dipendenti dalla regione idraulica di riferimento l_b>1,40 m b > 1,00 m h> 0,6 m Fori: b_s/h_s > 0,25/0,25 m Q = 80 fino 500 l/sec	Per piccoli e medi dislivelli; per vasche di ripopolamento e di itticoltura, per impianti idroelettrici	Deflusso contenuto; forti rischi a causa del trasporto di materiale fluitati galleggiante ed a causa del trasporto di limo	Per adeguate grandezze delle vasche e dei fori adatto per tutte le specie di pesci. Nel caso di insufficiente deflusso pericolo di insufficiente flusso.
Scale di risalita con profili ad "U"	Sezione di deflusso in legno o calcestruzzo, con lamelle a forma di "U" disposte a 45° controcorrente di legno.	Sezione: B = 0,6 fino 0,9 m H > 0,5 m I < 1:5 Q > 250 l/sec Lunghezza della scala: 6-8 m Nel caso di dislivelli maggiori di 1,5-2 m è necessario inserire vasca di riposo	Adatta per piccoli dislivelli, in particolare per il risanamento di vecchie prese d'acqua per mulini e nel caso di scarse disponibilità di spazio per l'intervento.	Deflussi relativamente alti, non adatto nel caso di livelli idraulici oscillanti, scarsa necessità di spazio per l'intervento. Costi contenuti. Buona formazione di flusso.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per specie a basse prestazioni, per pesci di piccole dimensioni. Agisce selettivamente. Non utilizzabile e superabile per organismi del Benthon.

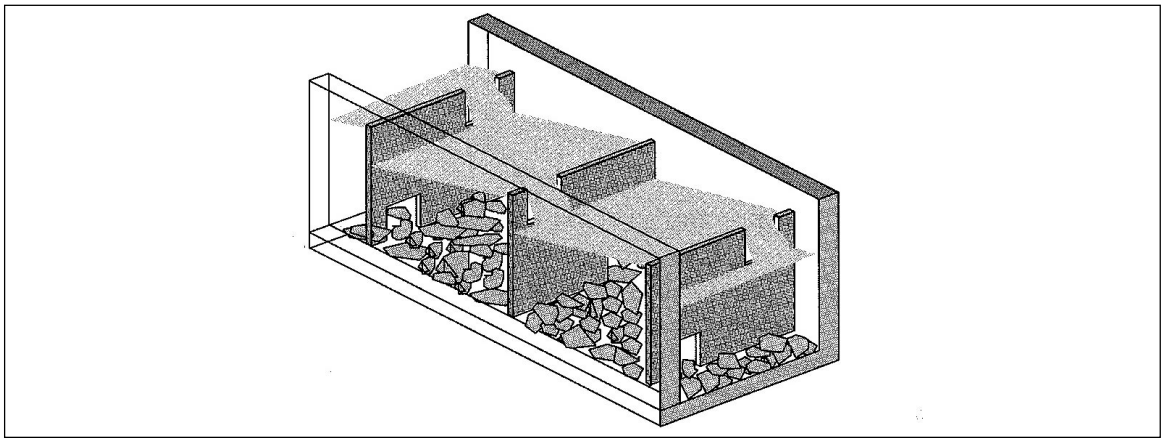
(*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

Fig. 14.79 - *Tipologia 4: scala di risalita con vasche a passaggi verticali*



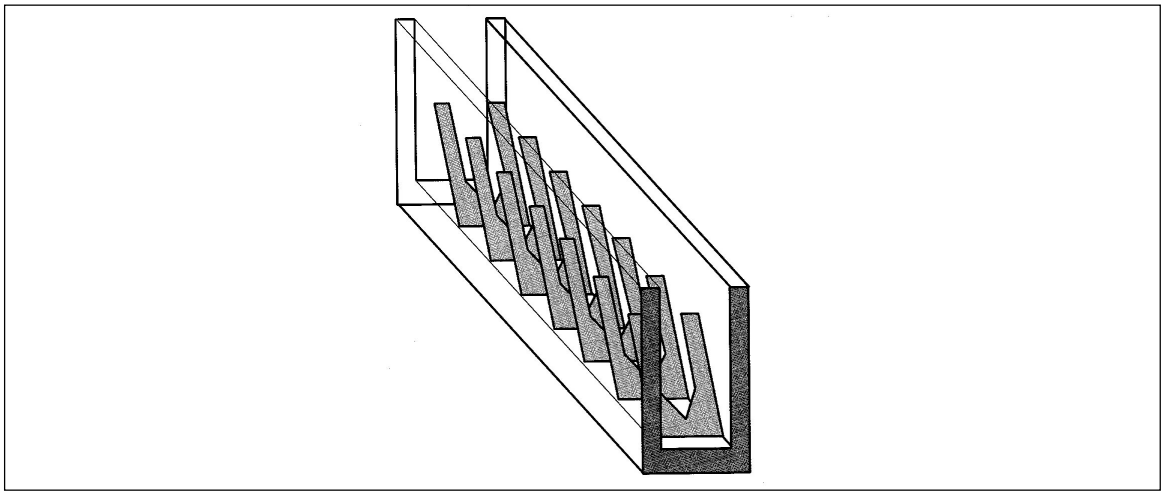
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Fig. 14.80 - *Tipologia 5: scala di risalita a vasche con stramazzi*



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Fig. 14.81 - *Tipologia 5: scala di risalita con profili a "U"*



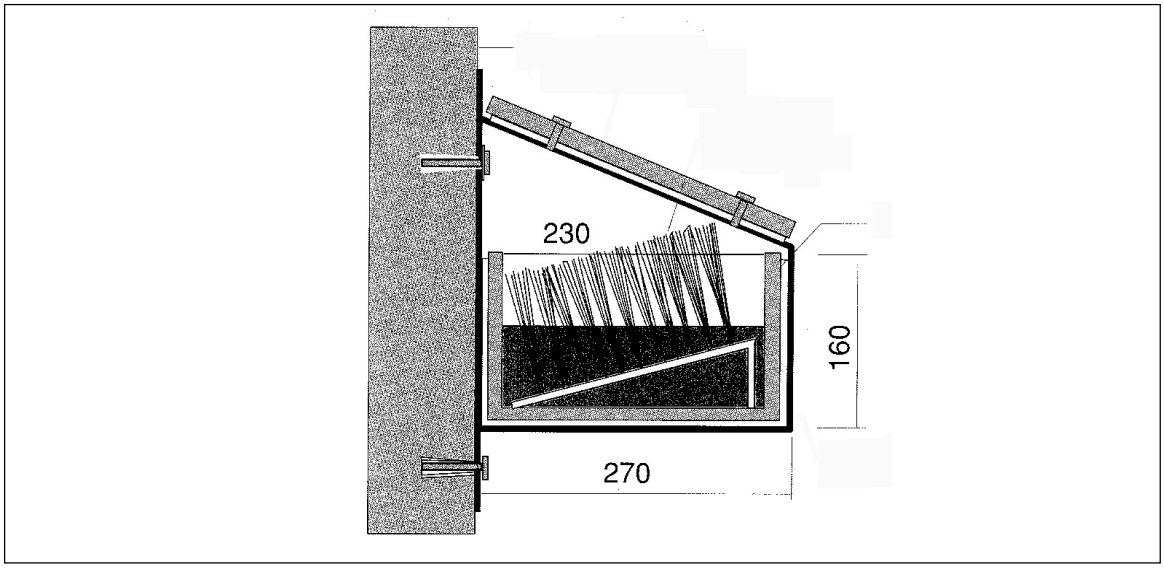
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Tab. 14.46 - *Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie speciali*

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Guida per i pesci	Piccole canalette con presenza di elementi verticali scopiformi. Sottofondo in ghiaia che vengono permeati solo parzialmente.	Sezione B = 30 fino 50 cm H = 15 fino 25 cm Pendenza circa 1:5 fino 1:10; possibili anche pendenze maggiori	Spesso impiegato come *by-pass* di bacino d'accumulo.	Costi di realizzazione contenuti. Richiesta di spazio contenuta. Deflussi minimi.	Adatta principalmente ad anguille. I tubi non si sono mantenuti a causa degli intasamenti e della cattiva possibilità di manutenzione. Come singolo elemento sono insufficienti per il mantenimento della continuità biotopica.
Chiuse per pesci	Camera a forma di pozzetto con chiusure laterali per i livelli di minima e massima. Il flusso viene originato tramite pilotaggio delle chiuse o dei *by-pass*	Misure variabili Larghezza minima delle camere e profondità minima analoga al passo del bacino. Consumo d'acqua dipendente dalla grandezza delle camere, dal funzionamento della chiusa e dalla necessità di flusso.	Adatte per grandi dislivelli, per condizioni di scarso spazio e nel caso di ridotte disponibilità d'acqua.	Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni. Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio. Alti costi di costruzione e gestione. Scarso consumo d'acqua. Adatte nel caso siano presenti specie ittiche di grandi dimensioni.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni. Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni.
Ascensori per pesci	Vasca di trasporto con meccanismo di sollevamento meccanico per il sollevamento dei pesci dalla parte basale alla parte apicale. Collegamento alla parte apicale tramite canale. Il flusso viene originato tramite *by-pass*	Dimensioni variabili. Dimensioni della vasca di trasporto da 2 a 4 m^3. Necessita di continuo deflusso tramite *by-pass* per originare un flusso.	Impiegabile nei casi come sopra e dove risulta essere l'unica possibilità d'inserimento di una scala di risalita per pesci. Nel caso di quote maggiori di 10 m come nel caso di dighe di trattenuta.	Richiesta di spazio contenuta. Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni. Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio. Alti costi di costruzione e gestione.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni. Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni. Non adatte per macrozoobenthos e per discesa dei pesci.

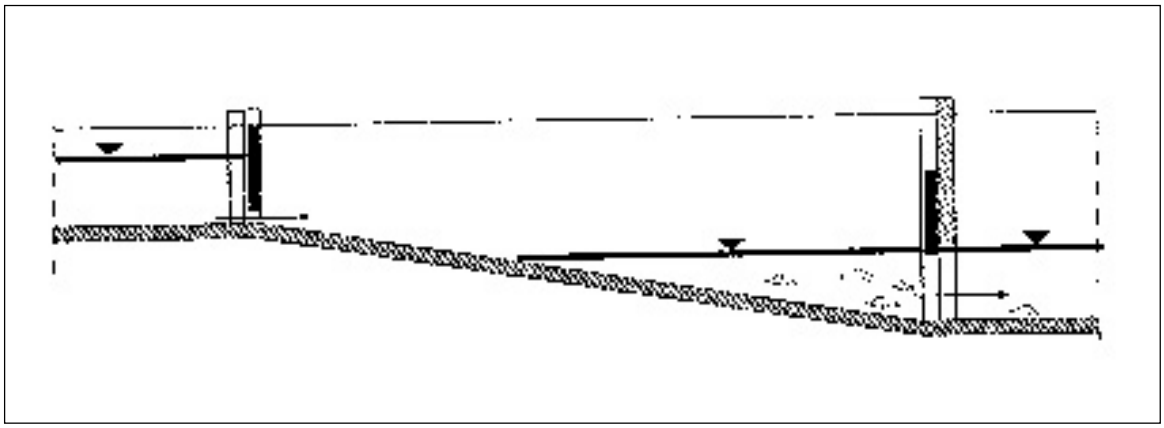
***** Le dimensioni indicate sono quelle minime.

Fig. 14.82 - *Tipologia 7: guida per i pesci*



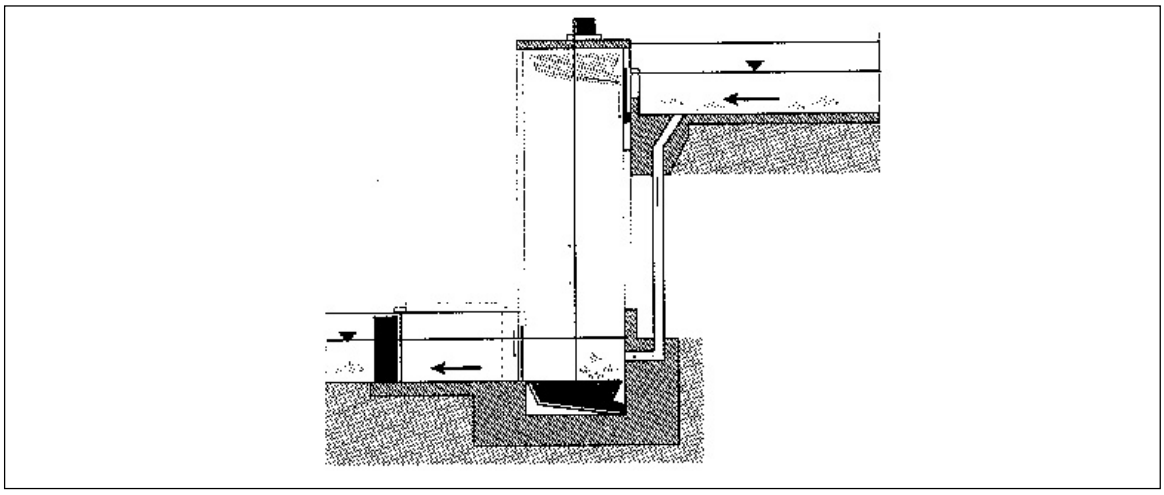
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Fig. 14.83 - *Tipologia 8: chiuse per i pesci*



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996. DVWK, Bonn.

Fig. 14.84 - *Tipologia 9: ascensori per i pesci*



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

sostegno mediante tacche di ancoraggio e chiodi di ferro o nastri d'acciaio zincati. Se necessario, la fondazione dovrà essere consolidata da pali. Il rivestimento della vasca tra il corpo briglia e la controbriglia verrà realizzato con pietrame reperito in loco;
- riempimento della briglia con materiale drenante di ciottoli o ghiaia e terreno drenente costipabile, o pareggiato con dei sassi;
- eventuale posizionamento a tergo di geotessile per evitare sifonamenti;
- completamento della soglia durante il riempimento con deposizione fra i correnti di rami lunghi 1,50 ÷ 2 m, con capacità di propagazione vegetativa, e/o con talee di salice (1 ÷ 5 pezzi/m), e/o con piante di latifoglie radicate. Per briglie di piccole dimensioni, si può alternare alle travi di legno viminate o fascinate vive, ben fissate al terreno di fondazione e ai pali di sostegno mediante picchetti di legno e legature metalliche.

Effetti:
- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

Campi di applicazione: corsi d'acqua con deflusso minimo costante, per evitare cicli di disseccamento/imbibizione del legname ed aumentarne quindi la durabilità, caratterizzati da erosione di fondo e laterale con trasporto solido non eccessivo a livello di quantità e di dimensioni del materiale lapideo. Soprattutto in aree prive di viabilità ma con disponibilità di legname e pietrame.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);

Le dimensioni delle briglie in legname e pietrame devono mantenersi limitate (altezza massima della gaveta 2,5 ÷ 3 m) e sono da evitare in presenza di eventuali distacchi e/o rotolamenti di massi che ne danneggerebbero la struttura in legno.
Questo tipo di intervento non è consigliabile nel caso di corsi d'acqua difficilmente accessibili ai mezzi ed ubicati in aree nelle quali vi è la difficoltà a reperire legname di elevata durabilità (castagno, larice) e/o corsi d'acqua caratterizzati da trasporto solido di materiale di elevate dimensioni.
La briglia deve essere calcolata come manufatto a gravità, tenendo presente che il volume occupato dal legname sia pari a circa il 15 ÷ 20 % del volume totale.
Normalmente, per il dimensionamento, vengono impiegati criteri empirici che fissano il rapporto tra spessore di base ed altezza dell'opera. La regola che stabilisce una misura di base pari a metà dell'altezza della briglia, nel caso in cui il manufatto risulti quasi completamente sommerso e l'ammorsatura laterale venga a mancare per effetto dell'erosione, non consente di ottenere stabilità al ribaltamento ed allo scivolamento. Appare pertanto più corretto ricorrere al criterio che assegna uno spessore di base pari al valore dell'altezza di progetto delle strutture; il rapporto spessore di base/altezza pari a 1 garantisce stabilità per gravità in molte situazioni critiche, anche in assenza, dunque, dell'apporto stabilizzante dell'ammorsatura.
Per ciò che riguarda le opere non drenanti, è bene prendere in esame anche l'eventuale necessità di mettere in opera tubi drenanti per ridurre la pressione idrostatica; al fine di aumentare efficacemente sia la stabilità al ribaltamento sia quella allo scivolamento potranno essere infissi nel terreno pali verticali attraversanti il corpo della briglia oppure piloti di ferro ancorati alla roccia, collegati alla struttura mediante cavi di acciaio serrati da morsetti. Se il terreno in cui è inciso l'alveo risulta poco stabile, occorre valutare, in fase di progetto, anche la possibilità che l'opera possa compiere dei movimenti verso il basso rispetto al terreno che ad essa applica la spinta. Questo fatto comporta effetti rilevanti sulla stabilità, dato che aumentano le sollecitazioni che tendono a far ribaltare l'opera e che l'attrito alla base della stessa diminuisce.

Materiali impiegati:
- pietrame di pezzatura 25 cm o superiore, reperito in loco o da cava di prestito;
- chiodi in ferro ∅ 12 ÷ 14 mm, lunghezza ≥ 40 cm;
- piloti in ferro ∅ 24 mm, lunghezza 1,5 ÷ 3m;
- cavo in acciaio ∅ 10 mm;
- pali scortecciati in legname (castagno, larice, abete, pino), lunghezza 2 ÷ 4 m, ∅ 20 ÷ 40 cm;
- graffe metalliche lunghezza 20 ÷ 30 cm, ∅ 8 ÷ 10 mm.

Modalità di esecuzione: si opera uno scavo con mezzo meccanico o manuale, in leggera contropendenza per la parte della struttura da adibire a fondazione, e per le intestature laterali in relazione alle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono le sponde.
La costruzione del cassone di contenimento, che, per motivi di stabilità al ribaltamento, ha la parte in fondazione con dimensioni superiori, avviene mediante l'incastellatura dei pali in legname.
Generalmente, per un corretto dimensionamento, la profondità della fondazione e l'altezza del manufatto devono essere uguali. Si realizza la platea di posa (generalmente in pietrame) e, se necessario, la si prolunga verso valle a formare una platea di appoggio per evitare

lo scalzamento dell'opera da parte della lama stramazzante.
I pali disposti in senso trasversale rispetto al verso della corrente vengono sormontati, con interasse di 150 cm circa, da quelli disposti in senso longitudinale.
L'unione tra i singoli elementi, al fini di assicurare la stabilità strutturale, avviene mediante chiodatura, con chiodi in ferro infissi in fori già predisposti a mo' di guida, eventualmente rinforzata da graffe metalliche.
La continuità tra due elementi disposti nel medesimo verso è prodotta sovrapponendo le parti terminali dei pali, opportunamente sagomate con tagli in diagonale (circa 45°) e, successivamente, con chiodatura tra gli stessi.
Le ali della struttura, al fine di impedire un eventuale danneggiamento per aggiramento laterale, devono penetrare nelle sponde dell'alveo in maniera accentuata. Nel procedere verso l'alto la struttura viene riempita con pietrame e materiale idoneo (si può utilizzare anche solo legname e, in tal caso, i pali sia trasversali che longitudinali vengono messi in posa accostandoli gli uni agli altri), sia con macchina operatrice che manualmente per le rifiniture, in modo tale che la struttura stessa non venga danneggiata e con deposizione fra i correnti di rami (lunghezza 1,5 ÷ 2 m) con capacità di propagazione vegetativa e/o talee e/o piante radicate.
La gaveta viene rivestita con tondelli di legname, anche tagliati a metà secondo i diametri, disposti in senso longitudinale, fissati con chiodature ai corrispondenti pali della struttura. In alternativa potrà essere utilizzato il pietrame del riempimento dell'opera opportunamente sagomato e disposto razionalmente.
La platea di appoggio a valle dell'opera può essere eseguita anche alla fine dei lavori. In genere si utilizzano massi di dimensioni abbastanza grandi da non essere trasportati dalla corrente.

Accorgimenti:
- se i pali vengono preventivamente scortecciati hanno maggiore durabilità.
- utilizzando pali con ∅ massimo di 20 cm si può prevedere di realizzare l'opera senza l'ausilio di un escavatore per la movimentazione dei pali, che invece si rende indispensabile quando si utilizzano pali con ∅ 30 ÷ 40 cm.

Vantaggi:
- durata notevole, specialmente nel caso di corsi d'acqua con portata continua durante tutto l'anno;
- notevole capacità drenante nel primo periodo di funzionamento.

Svantaggi: ostacolo per la fauna ittica.

Periodo di intervento: durante il periodo di magra del corso d'acqua.

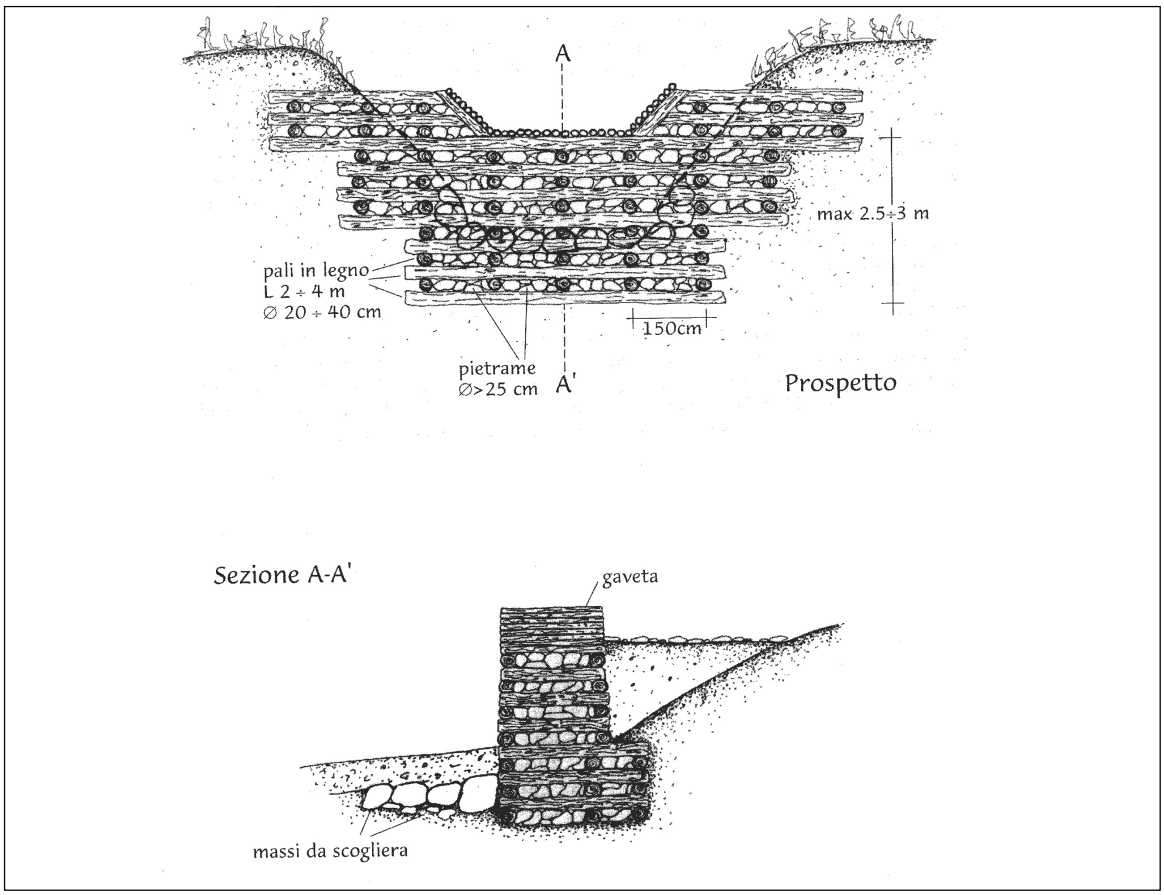
Manutenzione: l'intervento non necessita di una particolare manutenzione ordinaria.
Solamente in caso di danneggiamenti si rendono necessari interventi di manutenzione straordinaria. L'opera nel suo insieme può raggiungere i 30 ÷ 40 anni di durata, se il corso d'acqua è caratterizzato da un deflusso minimo costante in grado di evitare cicli di disseccamento/imbibizione.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.47**.

Tab. 14.47 - *Briglia in legname e pietrame: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,00		
Operaio comune	Ora	0,70		
b) Noli:				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,90		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
c) Materiali:				
Pietrame	Kg	60		
Legname scotecciato	m^3	0,5		
Chiodi	cad	4		
Canbre	Kg	0,50		
Talee di salice	cad	20		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**193,67 ÷ 201,42**
			£/m^2	**375.000 ÷ 390.000**

Fig. 14.85 - *Briglie in legname e pietrame*



Fonte: AIPIN Toscana, *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana*.

14.3.14 Briglia in terra

Funzioni: consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

Descrizione: opera di regimazione fluviale trasversale costituita da un rilevato in terra (**fig. 14.86**).

Effetto:
- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

Campi di applicazione: regimazione di torrenti in scavo, in depositi prevalentemente argillosi o comunque a granulometria fine.

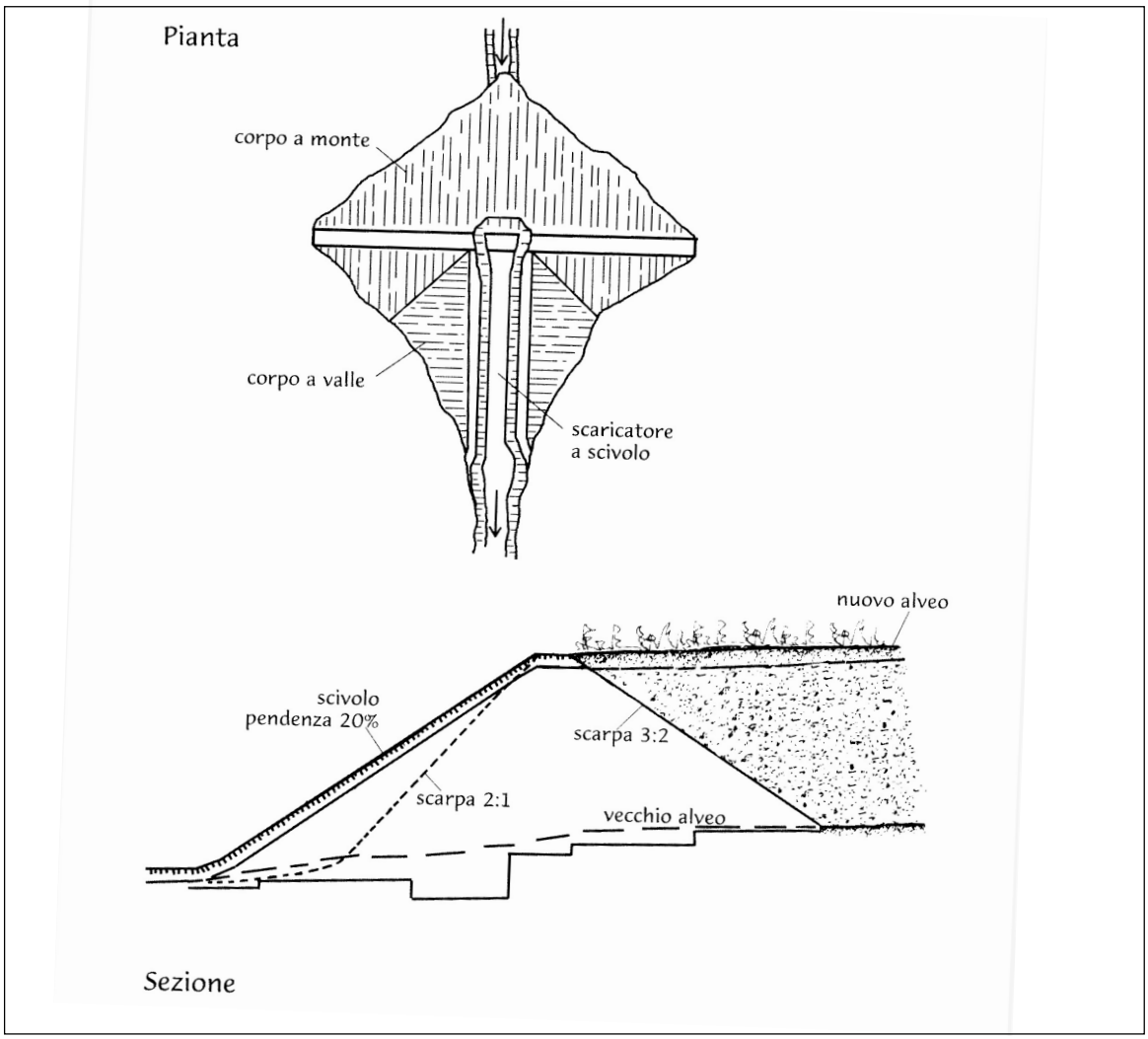
Modalità di dimensionamento e Ambiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- protezione del paramento di valle dall'erosione diffusa e/o incanalata.

Dal momento che il terreno più frequentemente impiegato è di natura prevalentemente argillosa, occorre dare alle scarpate del corpo briglia valori di inclinazione di scarpa piuttosto bassi (3:2 per il paramento di monte e 2:1 per quello di valle). Per lo stesso motivo anche l'altezza di tali manufatti è limitata. Per una regimazione complessiva del corso d'acqua il numero delle briglie necessarie è quindi superiore a quello di briglie di diversa tipologia costruttiva. Il rivestimento vegetale dello sfioratore limita gli ambiti di impiego a torrenti con portate poco elevate: perché ne sia garantita la conservazione, lo scivolo così rivestito deve avere una pendenza massima del 20% e la lama d'acqua tracimante non deve superare lo spessore di 30 cm. Le caratteristiche geotecniche delle terre impiegate possono essere conosciute attraverso apposite prove di laboratorio e, quindi, esiste la possibilità di calcolare con precisione il dimensionamento dei manufatto ed effettuare una verifica di stabilità dell'insieme terreno-manufatto. Per il dimensionamento dello sfioratore è necessario conoscere i valori delle portate di massima piena del corso d'acqua, tenendo conto di un congruo numero di anni come tempo di ritorno.

Materiali impiegati:
- terreno da reperirsi nelle vicinanze, granulometricamente simile a quello che costituisce il fondo ed i fianchi del tratto di corso d'acqua sul quale si va ad operare; qualora il terreno disponibile sia completamente costituito di argille, è possibile migliorarne le caratteristiche meccaniche "correggendolo" con l'aggiunta di percentuali di sabbia;
- ciottoli di dimensioni variabili per la formazione del drenaggio;
- talee e ramaglia viva per la costituzione del rivestimento dello sfioratore;
- picchetti di legno;
- materiali per idrosemina;
- supporto antierosivo biodegradabile, quando necessario.

Modalità di esecuzione: la briglia si realizza, previo scavo di fondazione che deve raggiungere terreno integro, stendendo il materiale terroso reperito presso cave di prestito nelle vicinanze dell'opera, in strati dello spessore di poche decine di cm e comprimendoli con particolari rulli compressori vibranti. Se il terreno è troppo asciutto va leggermente bagnato. La quantità di acqua necessaria per migliorare le caratteristiche meccaniche delle terre utilizzate per la costruzione dell'opera può essere determinata attraverso opportune prove di laboratorio da effettuarsi su campioni del materiale terroso impiegato. Lo spessore al coronamento deve essere tale da permettere il passaggio dei mezzi meccanici. Al fine di abbassare la linea di saturazione all'interno del corpo della briglia si deve predisporre alla base del paramento di valle un drenaggio costituito da materiale incoerente. Particolare importanza riveste lo sfioratore (questa tipologia di briglia non è di fatto tracimabile, pena forti dissesti erosivi): oltre agli sfioratori classici in cemento armato, che pertanto non rientrano nelle tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, possono essere realizzati canali di scarico centrali al corpo briglia, caratterizzati da un'inclinazione inferiore rispetto al paramento di valle della briglia. Il rivestimento dello scivolo viene realizzato con viminate vive di rami di specie legnose con capacità vegetativa, intrecciati, oppure con i rivestimenti di ramaglia. Il corpo della briglia (ali e paramenti) viene poi rivestito e protetto dall'erosione superficiale (mete-

Fig. 14.86 - *Briglie in terra*



orica) con semine di specie erbacee opportunamente selezionate in base al terreno di semina ed alle caratteristiche stazionali.

Accorgimenti: il rivestimento dello sfioratore deve essere fatto prima dei periodi di piena.

Vantaggi: si tratta dell'unico tipo di briglia veramente efficiente nella regimazione dei torrenti in scavo impostati in terreni a granulometria fine; l'uso della terra, in alternativa ai gabbioni, al pietrame oppure al cemento armato, oltre a determinare compressioni sul piano d'appoggio, fa sì che non si formi tra il corpo briglia ed i terreni di fondazione una superficie di discontinuità lungo la quale si possono innescare fenomeni di sifonamento e di aggiramento da parte della corrente. Una volta esaurita la loro funzione, dopo quindi il completo interramento, le briglie possono essere sopraelevate (Puglisi, 1968). Il rivestimento vegetale dello sfioratore ben si adatta agli assestamenti dell'ammasso terroso posto in opera, senza creare superfici di discontinuità, e quindi di debolezza, tra il corpo del manufatto ed il rivestimento stesso.

Svantaggi: sono necessari mezzi meccanici e di conseguenza devono essere previste piste di accesso al cantiere che in ambienti caratterizzati dall'affioramento di depositi argillosi possono risultare destabilizzanti. Lo scivolo necessita inoltre di una particolare e frequente manutenzione, dal momento che le specie vegetali impiegate devono essere costantemente "ringiovanite" per mantenere l'elasticità necessaria al passaggio dell'acqua.

Periodo di intervento: in genere si preferisce eseguire questa tipologia di opere durante i periodi di magra del corso d'acqua, dal momento che è più semplice effettuare deviazioni temporanee della corrente o sbarramenti a monte, necessari per una corretta esecuzione dei lavori. Per quello che riguarda invece le opere a verde si devono aspettare, per il rivestimento dello sfioratore, i mesi di riposo vegetativo (consigliabile, prima comunque dei periodi di piena) ed i mesi di ripresa della vegetazione per la semina.

Manutenzione: taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dalle opere di rivestimento dello sfioratore (che deve garantire il flusso delle portate di piena).

14.3.15 Rullo di geotessile e rullo metallico spondali

Funzioni: consolidamento, regimazione idraulica in alveo.

Descrizione: opera di consolidamento, elastica, permeabile che aumenta la stabilità della sponda. Può essere posta al piede di altre opere (**fig. 14.87**).

Descrizione da voce di capitolato:
- in georete sintetica;
- in rete metallica.

In analogia al punto precedente potranno venir realizzati rulli in geotessuto sintetico riempiti di *tout-venant* ghiaioso o terroso abbinati a ramaglia viva e morta di salici o altre specie con analoghe proprietà vegetative, disposta a sostegno come sottofondo al rullo e internamente ad esso nella parte periferica inferiore e superiore.
La lavorazione prevede:
- scavo di un basamento in contropendenza al piede della sponda;
- disposizione di ramaglia trasversalmente alla linea di flusso;
- stesura della rete zincata o del geotessile in teli larghi 2 ÷ 4 m e lunghi secondo necessità;
- rivestimento con ramaglia, ricarico del materiale da riempimento;
- copertura con ulteriore strato di ramaglia;
- chiusura a rullo e cucitura con filo di ferro (diametro minimo 2 mm) con eventuale ausilio di mezzi d'opera per diametri vicini ad 1 m;
- fissaggio del rullo mediante pali d'acciaio di 1 ÷ 3 m di lunghezza e ∅ 16 ÷ 22 mm, battuti attraverso il rullo.

La variante in rete metallica potrà essere applicata solo in presenza di inerte ghiaioso di riempimento di diametro superiore a 80 ÷ 120 mm.
La difesa in rullo e ramaglia verrà attuata su fondali limosi e fangosi che male sopportano i carichi (ad esempio, scogliera) e con fondi movimentati.
La collocazione avverrà nel periodo di riposo vegetativo e in modo che la ramaglia di base non si trovi sott'acqua per oltre tre mesi in tale periodo.

Effetto: i rulli favoriscono la sedimentazione del materiale trasportato dalla corrente aumentando la stabilità della sponda.

Campi di applicazione: il loro utilizzo in ambito fluviale varia in funzione delle valutazioni relative alla forza di trascinamento del livello medio dell'acqua. In genere si utilizzano per il consolidamento di tratti di sponda in erosione di corsi d'acqua a bassa pendenza o laghi con limitate oscillazioni del livello dell'acqua e trasporto solido abbastanza fine (limi in sospensione), su substrati sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi che sopporterebbero male carichi maggiori (ad esempio, scogliera).
Consolidamento di canneti e vegetazione spondale arborea o arbustiva.

Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità: si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:
- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata si-

gnificativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- difficoltà d'esecuzione in corsi d'acqua con pendenze d'alveo accentuate, trasporto solido grossolano e velocità elevate della corrente.

Materiali impiegati:
- *geotessuto*: biostuoie di juta o cocco, reti di materiale sintetico, gabbioni cilindrici in metallo zincato di varie forme e spessori del filo.
- talee di salici arbustivi o arborei;
- filo di ferro per legature: ∅ 2, 3 mm;
- picchetti di legno o di ferro;
- pietrame nel caso si utilizzino i rulli come protezione al piede di altre opere.

Modalità di esecuzione: lungo la sponda da proteggere si conficcano pali di legno opportunamente dimensionati ed intercalati in funzione del substrato e dello sforzo.
Sul retro dei pali viene realizzato un fossetto (dimensioni minime 40 x 40 cm) che servirà per la costruzione del rullo. Successivamente si posiziona la rete del materiale scelto (biostuoia, geostuoia, rete metallica) e si costipano il fondo e le pareti con materiale proveniente dallo scavo.
Si procede al riempimento con pietrame, pietrisco, ghiaia grossa, materiale vegetale morto, terra di scavo per i 2/3 inferiori.
Se il materiale di riempimento è fine (pezzatura < 80 ÷ 120 mm) la rete va rivestita di con un geotessuto filtrante sintetico o in fibra vegetale o va adottata la georete sintetica.
Sopra si posizionano le talee vive o i culmi di canna (se sono con pane si dovrà prestare attenzione a non rovinare la zolla di terra).
Il posizionamento delle piante dovrà tenere conto delle caratteristiche delle specie utilizzate, per esempio la *Typha latifolia* dovrà essere posizionata appena sotto il livello medio dell'acqua mentre la *Typhoidès arundinacea* dovrà essere posizionata leggermente più in alto.
Al termine delle operazioni si chiude saldamente il rullo con il filo di ferro ed il rullo stesso dovrà sporgere leggermente (5 ÷ 10 cm) dal livello medio dell'acqua.

Accorgimenti: in caso di utilizzo di rulli in rete zincata in acque salmastre è necessario prevederne la plastificazione.

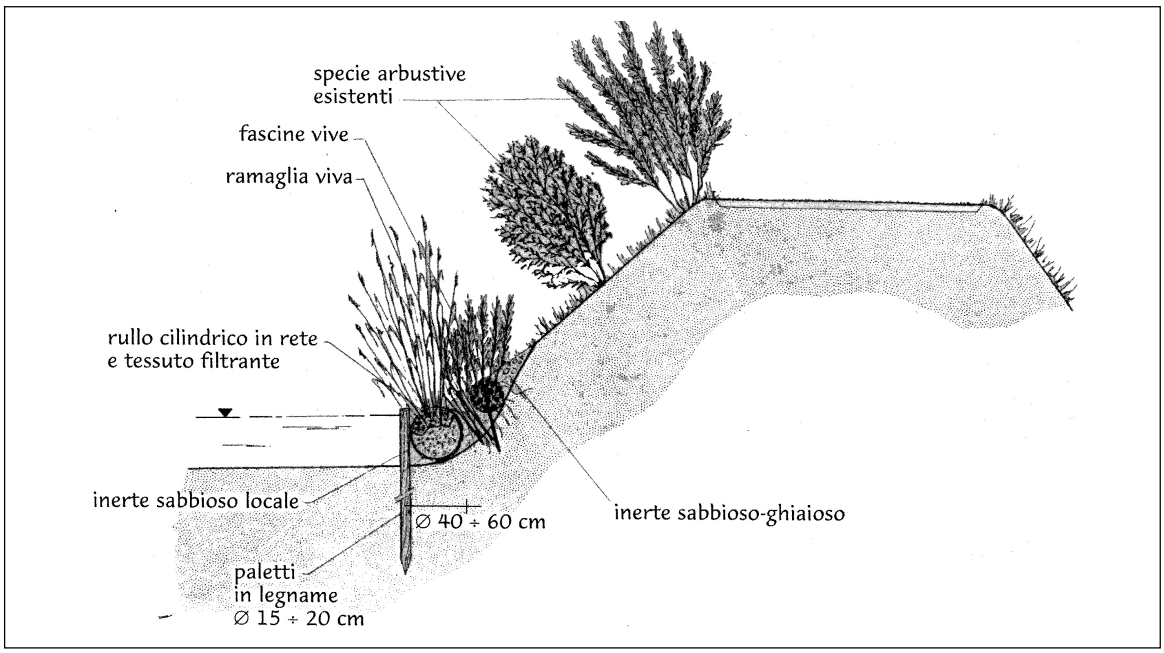
Vantaggi:
- reperimento dei materiali in zona, semplice esecuzione del lavoro;
- azione protettiva immediatamente dopo l'impianto.

Svantaggi: se si utilizzano culmi o zolle di canna e talee si restringe molto il periodo di possibile impiego. Il pietrame per il riempimento delle gabbionate può non essere reperibile localmente.

Periodo di intervento: è necessario eseguire i lavori durante il periodo di riposo vegetativo. In caso di interventi in ambiti fluviale il periodo è vincolato dal livello del corso d'acqua.

Manutenzione: controllare durante il primo anno per interventi sulla struttura e sulle fallanze delle talee, successivamente taglio se necessario.

Fig. 14.87 - *Rullo di geotessile e rullo metallico spondali*


specie arbustive esistenti
fascine vive
ramaglia viva
rullo cilindrico in rete e tessuto filtrante
inerte sabbioso locale
∅ 40 ÷ 60 cm
inerte sabbioso-ghiaioso
paletti in legname ∅ 15 ÷ 20 cm

14.3.16 Scogliera viva

Descrizione dell'opera e funzioni principali: la scogliera in massi, rinverdita, è un'opera di difesa spondale longitudinale realizzata con grossi massi e disposta quindi parallelamente al corso della corrente con la superficie lato fiume inclinata in modo tale da conferire all'alveo una sezione a forma trapezia. Negli spazi tra masso e masso vengono inseriti astoni di salice o di altre specie dotate di analoghe capacità biotecniche che, radicando, permettono la stabilizzazione della struttura arginale. Devono possedere fondazioni profonde per evitare che la forza della corrente in prossimità del piede possa scalzarle alla base (**figg. 14.88-14.92**).

Descrizione da voce di capitolato: formazione di scogliera in grossi massi ciclopici rinverdita, di rivestimento e difesa di scarpate spondali, realizzata mediante:
- sagomatura dello scavo, regolarizzazione del piano di appoggio con pendenza non superiore a 2/3;
- eventuale stesa di geotessile sul fondo di peso non inferiore a 400 g/m^2 con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale sottostante all'azione erosiva;
- realizzazione del piede di fondazione con materasso o taglione (altezza di circa 2 m e interramento di circa 1 m al di sotto della quota di fondo alveo) in massi, ad evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilitazione del pietrame in elevazione. Il materasso di fondazione deve essere realizzato prevedendo eventuali soglie di consolidamento costruite sempre con grossi massi, o anche con la realizzazione di piccoli repellenti;
- realizzazione della massicciata in blocchi di pietrame per uno spessore di circa 1,50 m, inclinati e ben accostati, eventualmente intasati nei vuoti con materiale legante (al di sotto della linea di portata media annuale) oppure legati da fune d'acciaio. I blocchi devono avere pezzatura media non inferiore a 0,4 m^3 e peso superiore a 5 ÷ 20 q, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente d'acqua e della forza di trascina-mento. Le pietre di dimensioni maggiori vanno situate nella parte bassa dell'opera. Nel caso che il pietrame venga recuperato nell'alveo, è necessario fare in modo che non venga alterata eccessivamente la struttura fisica dello stesso (dimensione media del pietrame di fondo, soglie naturali, pendenza);
- impianto durante la costruzione di robuste talee di salice, di grosso diametro, tra le fessure dei massi (al di sopra della linea di portata media annuale), poste nel modo più irregolare possibile. In genere vanno collocate 2 - 5 talee/m^2, e su aree soggette a sollecitazioni particolarmente intense (ad esempio, sponda di torrenti con trasporto solido) da 5 a 10 talee/m^2 e di lunghezza tale (1,5 ÷ 2 m) da toccare il substrato naturale dietro la scogliera. I vuoti residui devono essere intasati con inerte terroso. Il dilavamento del terreno nelle fessure poste al di sotto della linea di portata media annuale può essere diminuito o anche eliminato con l'inserimento di stuoie vegetali.

Campi di applicazione: viene utilizzata in alvei torrentizi e fluviali, per corsi d'acqua con notevole trasporto solido e alta velocità della corrente. Per la protezione di sponda dall'erosione della corrente, per ampliamento delle sezioni idriche, per ridurre il rischio di esondazione e anche come difesa al piede di riprofilature e ricariche di versante.

Fattibilità: la scogliera è da realizzarsi preferibilmente utilizzando materiali reperiti in loco.

Materiali impiegati:
- massi ciclopici di volume compreso tra 0,5 ÷ 1 m^3;
- eventuali funi di acciaio e tasselli di ancoraggio opportunamente dimensionati in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente e della forza di trascinamento;
- talee a piantine di specie riparie arbustive ed arboree (in particolare salici a portamento arbustivo e ridotto sviluppo).

Modalità di esecuzione:
- realizzazione della fondazione mediante la posa di massi ciclopici oppure con un taglione in calcestruzzo di profondità idonea al fine di evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilizzazione del pietrame costituente il corpo in elevazione;
- messa in opera dei massi posizionando in basso quelli di dimensione maggiore. I massi possono essere ancorati tra loro mediante funi di acciaio e fissati alle sponde (se in roccia) oppure a piloti infissi nell'alveo. I punti di ancoraggio sui massi si realizzano mediante perforazione e posa di tasselli o barre con occhiello. Il dimensionamento dei tasselli e delle funi è da calcolarsi in base alle sollecitazioni attese per eventi di massima piena.
- inserimento di talee e piantine tra gli elementi della scogliera. La quantità da inserire per m^2 è in funzione delle dimensioni dei massi utilizzati (orientativamente 2 ÷ 10 talee m^2): se i massi sono di piccola dimensione si dovrà utilizzare una quantità maggiore di talee;
- l'inserimento delle talee e delle piantine tra i massi va realizzato preferibilmente in contemporanea alla costruzione della scogliera. In questo modo si possono utilizzare talee od astoni di maggiore lunghezza (200 ÷ 250 cm) che potranno radicare in profondità a tergo della scogliera (scogliere di tipo chiuso);
- è possibile inserire le talee o le piantine successivamente alla formazione della scogliera mediante operazioni manuali di intasamento con terra dei vuoti presenti tra i massi (scogliera di tipo aperto) ed eventuali perforazioni;

- le talee, tagliate obliquamente in basso, devono essere messe a dimora nel verso di crescita (in basso la parte inferiore più grossa) e con disposizione perpendicolare al piano scarpata.
  Le talee vengono infisse nel terreno con una mazza di legno o con copritesta in legno. Nei terreni molto compatti i fori vengono praticati in precedenza.
  Le talee devono sporgere al massimo per un quinto della loro lunghezza adottando, se necessario, un taglio netto di potatura dopo l'infissione;
- la realizzazione di scogliere di tipo chiuso preserva eventuali sradicamenti del materiale messo a dimora da eventi eccezionali di piena immediatamente successivi alla posa. Per prevenire lo sradicamento nei manufatti di tipo aperto è consigliabile la posa di fasci di talee che permettono una maggiore resistenza.

Interventi collegati: tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica relativi alla protezione dei versanti ed alla profilatura e stabiliz-zazione dell'alveo.

Prescrizioni:
- l'inserimento di talee dovrà avvenire preferibilmente durante la fase di costruzione;
- le talee dovranno essere passanti la struttura, in modo da toccare il terreno retrostante.

Tab. 14.48 - *Scogliera viva: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
a) Manodopera:				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,20		
Operaio comune	Ora	0,20		
b) Noli:				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,30		
c) Materiali:				
Pietrame	Kg	2.600		
Inerte terroso-sabbioso	m^3	0,1		
Talee	cad	5		
	Prezzo di applicazione		**Euro/m^2**	**72,3 ÷ 82,63**
			£/m^2	**140.000 ÷ 160.000**

Fig. 14.89 - *Scogliera viva*

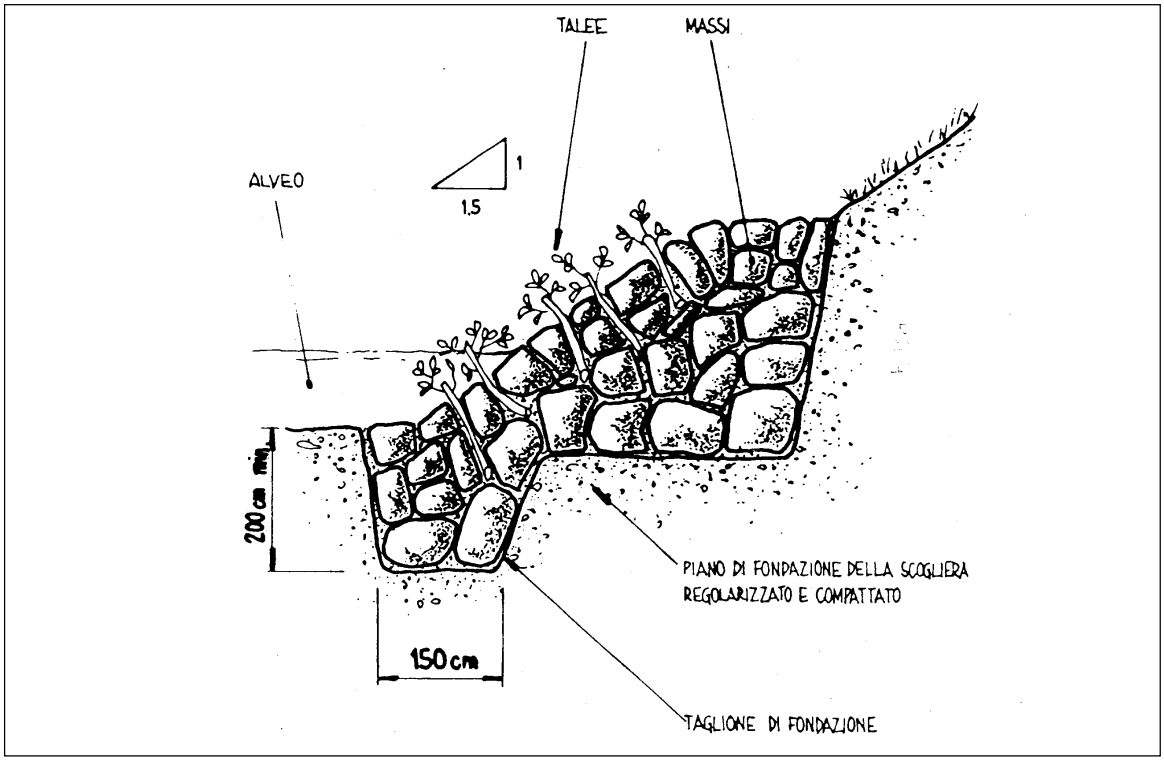


Fig. 14.90 - *Scogliera viva*

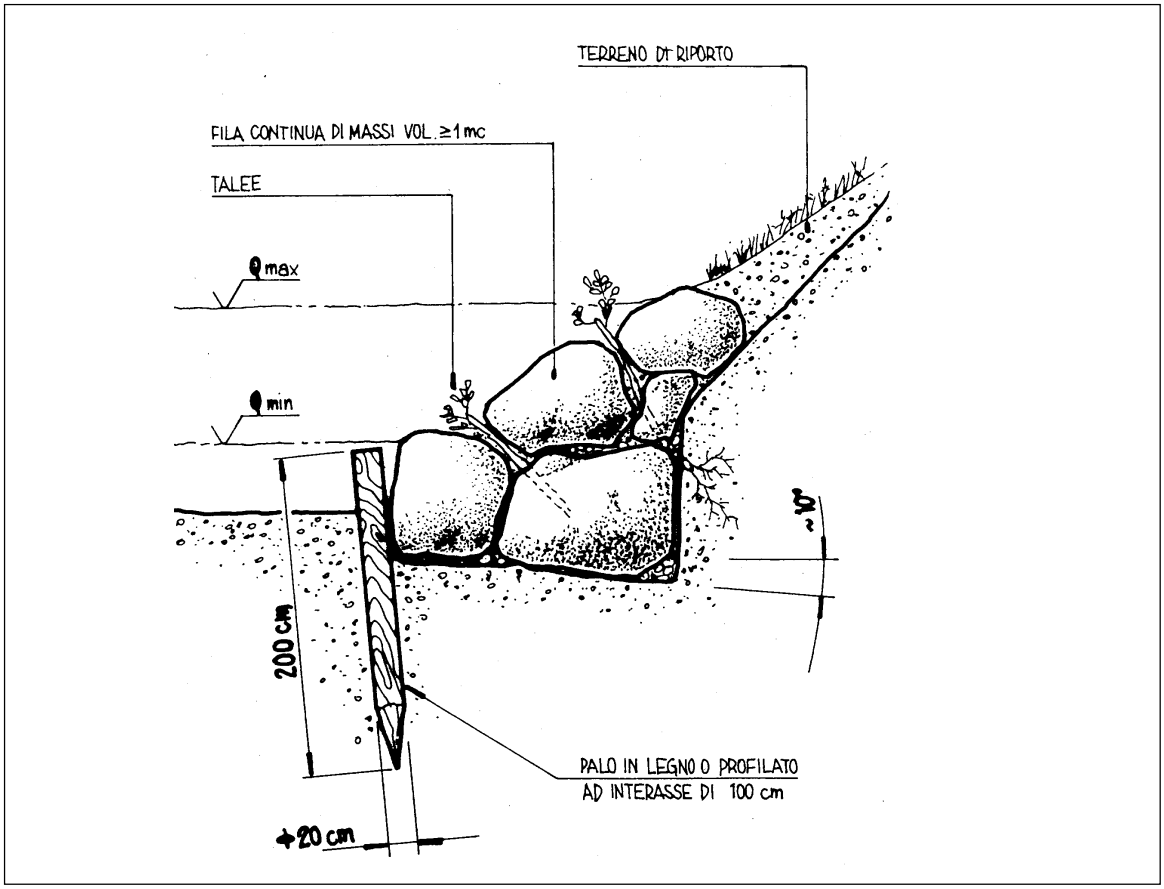


Fig. 14.91 - *Scogliera viva*

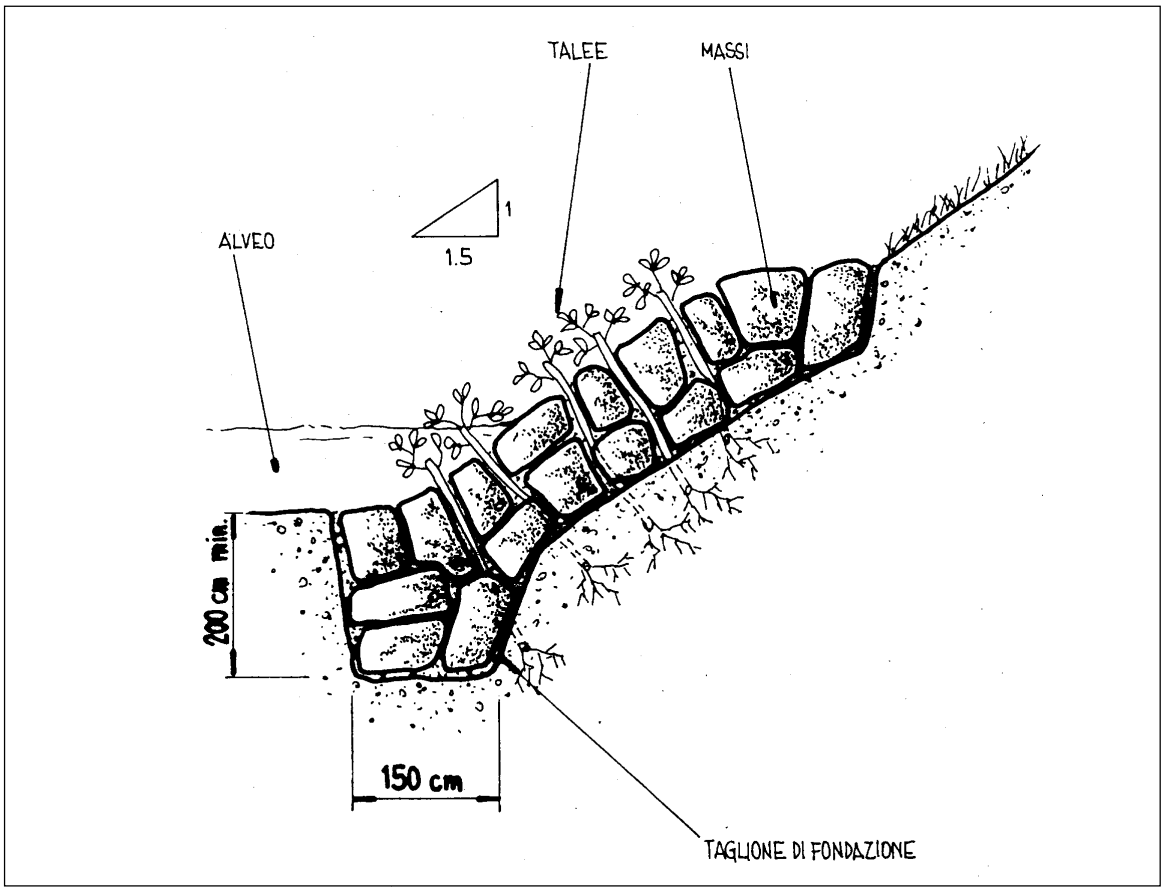


Fig. 14.92 - *Scogliera viva: sezioni di scogliere tipo chiuso e aperto*

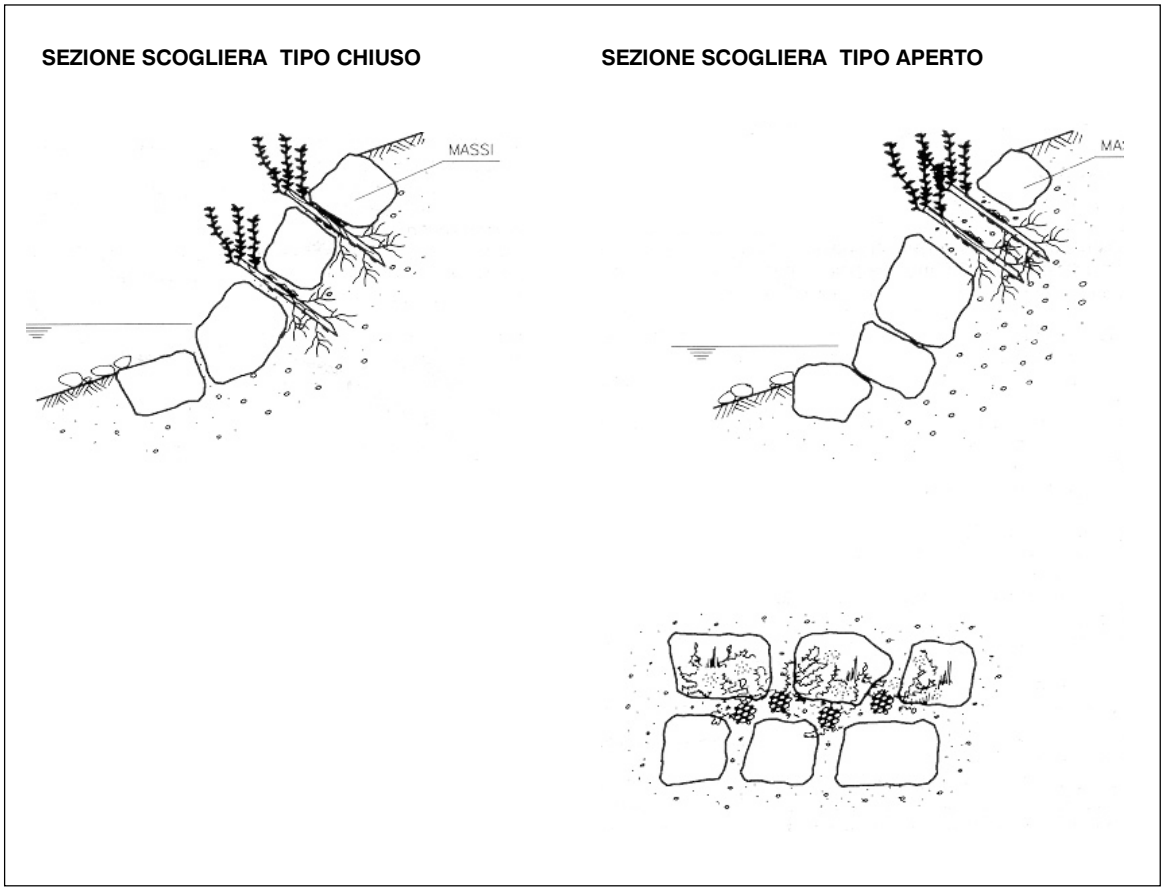
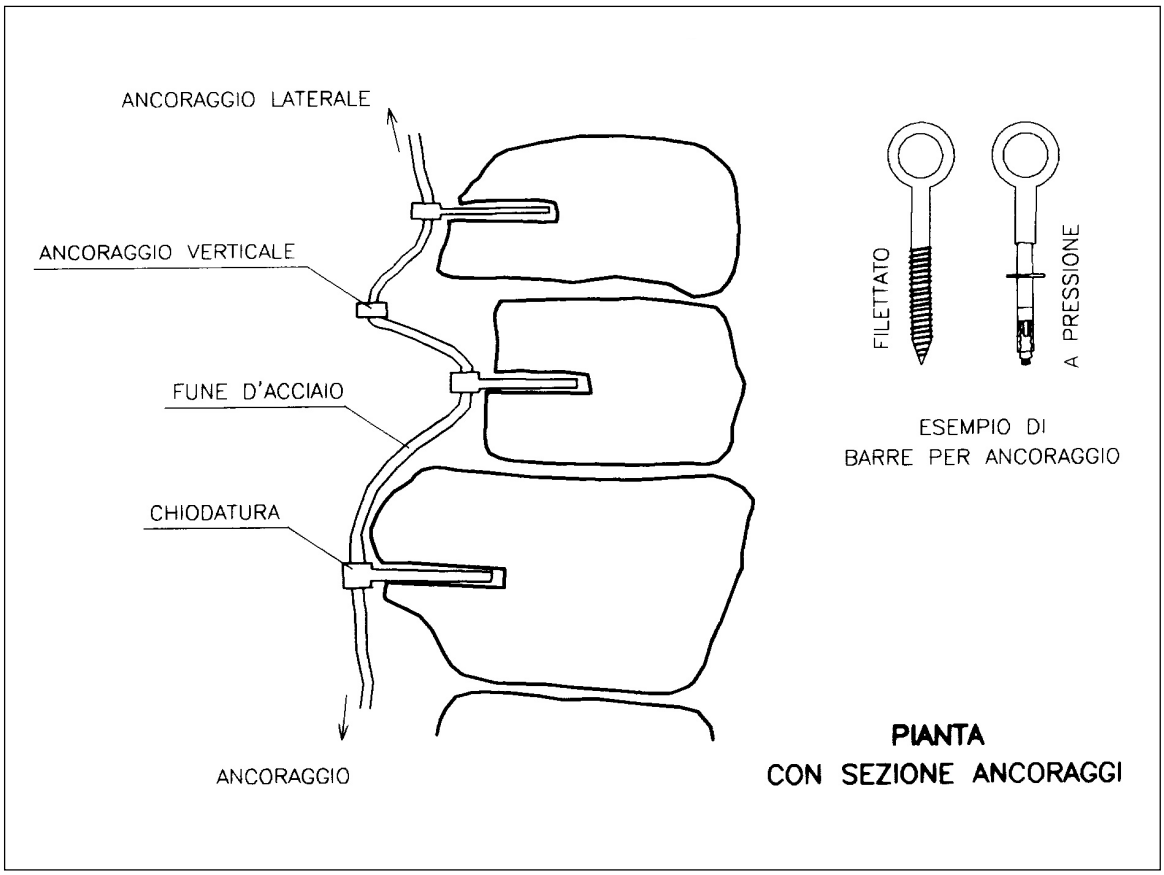


Fig. 14.93 - *Scogliera viva: fissaggio al piede con scogliera elastica*



Vantaggi:
- tecnica veloce e poco dispendiosa;
- opera massiccia con effetto protettivo immediato;
- una volta radicate, le talee aumenteranno l'effetto ancorante dei massi al terreno;
- i massi favoriscono la sedimentazione di materiale fine;
- ridotta attività di manutenzione;
- creazione di zone protette per i pesci;

Svantaggi:
- elevata percentuale delle fallanze (fino all'80%);
- tecnica difficilmente applicabile, in caso di cantieri poco accessibile ai mezzi di trasporto per i massi;
- eventuali costi elevati per i mezzi meccanici;
- la radicazione delle piante al suolo non è uniforme.

Effetto: protezione immediata della sponda, che va aumentando con lo svilupparsi dell'apparato radicale delle talee.

Periodo di intervento: il materiale vegetale va di preferenza posato durante il periodo di riposo vegetativo, quando le percentuali di attecchimento sono alte.
L'attecchimento fuori stagione (da evitare) dipende dal microclima (su scogliere assolate è intorno al 10% mentre in alvei incisi e freschi può arrivare fino al 50%) e dalle modalità di riempimento con terreno dei vuoti tra i massi.

Manutenzione e durata dell'opera: controllo periodico, per almeno due-tre stagioni vegetative, dell'attecchimento della vegetazione e sostituzione delle fallanze.

Possibili errori:
- mancato inserimento delle talee in fase di costruzione;
- talee di dimensioni ridotte.

Analisi prezzi: si veda la **tabella 14.48**.

Bibliografia

AA.VV., 1993
Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica, Regione Emilia Romagna, Regione Veneto - Centro di formazione professionale "O. Malugati", Bologna.

AA.VV.,2001
Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. *Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana*, collana "Fiumi e Territorio", edizione Regione Toscana, maggio.

AA.VV., Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo
Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale, Genova.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000
Approvazione direttiva "Quaderno opere tipo d'Ingegneria Naturalistica". Ambiente e territorio, in "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia",n. 19, supplemento straordinario, Milano.

Eidgenössisches Verkehers - und Energieiwirtschaftsdepartement Bundesamt für Wasserwirtschaft.
Ingenieur-biologische Bauweisen, Studienbericht n. 4.

Ferraiolo F., Vicari M., Officine Maccaferri S.p.a., 1996
Il programma MAC.R.A per la verifica di interventi di protezione spondale. Manuale d'uso, Bologna.

Geitz P., 1993.
Ausbildungsförderwerk – Garten, Landschafts und Sportplatzbau e V. – Natturnaher Wasserbau.

Ministero dell'Ambiente - Servizio Valutazione Impatto Ambientale, 1993
Informazione ai cittadini e per la relazione sullo stato dell'ambiente. Opere di Ingegneria Naturalistica sulle sponde. Tecniche costruttive ed esempi nel cantone di Berna (Svizzera), Roma.

Zeh H., 1993
Tecniche di Ingegneria Naturalistica, Il verde Editoriale.

Zeh H., Roth H., Mosimann R., 1988
Bauweisen und Beispiele im Kanton Bern. *Ingenieurbiologische Uferverbauungen*.